



UNIVERSIDADE
DO PORTO
FACULDADE
DE DESPORTO

CENTRO
DE INVESTIGAÇÃO
FORMAÇÃO
INOVAÇÃO
E INTERVENÇÃO
EM DESPORTO
CIF²D



Caracterização Biofísica de Nadadores Com Deficiência Motora

Dissertação apresentada com vista à obtenção do grau de Doutor no âmbito do curso de Doutoramento em Ciências do Desporto, organizado pelo Centro de Investigação e Inovação em Desporto (CIF²D), da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, nos termos do Decreto-Lei nº 74/2006 de 24 de Março.

Orientador Ricardo Jorge Pinto Fernandes, PhD

Co-orientadores Daniel Daly, PhD

Rui Corredeira, PhD

Valdir Rodrigues Ramos Junior

Porto, Dezembro de 2017

Junior, V. (2017). *Caracterização Biofísica de Nadadores com Deficiência Motora*. Porto: V. Junior. Dissertação de Doutoramento em Ciências do Desporto apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

PALAVRAS-CHAVE: NATAÇÃO, BIOENERGÉTICA, BIOMECÂNICA, DEFICIÊNCIA MOTORA.

Financiamento

A presente dissertação foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior através de uma Bolsa de Doutorado (BEX: 11926/13-9).



Cada um de nós compõe a sua história

Cada ser em si

Carrega o dom de ser capaz

E ser feliz

(Renato Teixeira)

Dedicatória

Ao meu sogro (José Braga Paiva – In Memoriam),
por todo o apoio ao longo do período de nossa convivência.

A minha sogra Valmira que deu suporte
a minha esposa e filhos durante minha ausência.

Dedicatória

Aos meus amados pais (Waldir e Rute)
que com humildade e sapiência
dedicaram suas vidas para educar a
mim e meus irmãos, minha eterna
gratidão.

Dedicatória

A minha esposa Salmira, companheira,
guerreira, eterna incentivadora, que
durante esses cinco anos, quase
sozinha, aceitou a árdua missão de
educar nossos filhos, e o tem feito
muito bem.

Dedicatória

Aos meus filhos Marla e João Victor que
pacientemente aceitaram minha ausência.

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho só foi possível graças a colaboração de um conjunto de pessoas a quem quero aqui agradecer.

Ao meu orientador professor Doutor Ricardo Fernandes pela orientação, compromisso, paciência e constante incentivo para que eu pudesse atingir esse objetivo.

Ao professor Doutor Daniel Daly por compartilhar seus conhecimentos e pelo apoio durante minha trajetória de aluno no curso de doutoramento.

Ao professor Doutor Rui Corredeira pelo apoio na área da atividade motora adaptada.

Ao professor Doutor João Paulo Vilas-Boas por alargar minhas idéias com o compartilhamento de seus conhecimentos.

A professora Doutora Susana Soares companheira de sala nessa longa jornada.

Ao professor Doutor Jorge Bento por enriquecer-me com seu saber intelectual.

Ao professor Doutor Antônio Barroso Lima pelo apoio e incentivo no início e durante toda o tempo que estive dedicado ao doutoramento.

Aos estudantes dos gabinetes de natação e biomecânica, João Ribeiro, Ana Querido, Ana Souza, Ana Silva, Jailton, Kelly de Jesus, Rodrigo Zacca, Ricardo Peterson, Karla de Jesus, Arturo Abrales, Márcio Borgonovo, Tania Amorim, Paul Chainok, Tomohiro Gonjo, Tiago Marques, Renata Willig, que muitas vezes, pacientemente, estiveram a me ajudar.

Aos amigos Alexandre Medeiros e Mara Ramalho que me receberam no Porto oferecendo-me apoio, carinho e atenção.

Aos amigos, estudantes brasileiros Cesar Agostinis, Toni Bovolini, Newton Birigui, Maria do Amparo, Rita Bettini, José Augusto que estiveram sempre a me apoiar durante essa jornada.

A Lara Carneiro, primeira amiga portuguesa, que sempre esteve presente apoiando-me em todos os momentos.

Ao amigo Manoel Coelho e sua família que por várias vezes me acolheram em sua casa.

Ao engenheiro Pedro Gonçalves que pacientemente estendeu várias horas de seu precioso tempo ajudando-me.

Aos funcionários da Faculdade de Desporto pela atenção e carinho que me dispensaram.

A todos os nadadores que participaram nos estudos e respectivos treinadores e clubes, sem eles nada seria possível.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES - Brasil, pelo apoio institucional que nos concedeu, possibilitando-nos uma dedicação “exclusiva” a esta investigação.

Índice geral

Agradecimentos	IX
Índice geral	XI
Índice de figuras	XV
Índice de tabelas	XVII
Resumo	XIX
Abstract.....	XXI
Lista de abreviaturas e símbolos.....	XXIII
 Capítulo 1. Introdução	 1
Justificação e pertinência do estudo	3
Objetivo do estudo	12
Estrutura da dissertação	12
Referências Bibliográficas	16
 Capítulo 2 . Estudo Empírico 1.....	 23
Resumo	25
Abstract	26
Introdução	28
Métodos.....	30
Amostra	30
Instrumentos e procedimentos	30
Resultados	33
Discussão.....	34
Conclusão	38

Agradecimentos	38
Referências	38
Capítulo 3. Estudo Empírico 2	43
Resumo	45
Abstract	46
Introdução	47
Métodos	49
Amostra	49
Instrumentos e procedimentos	50
Procedimentos estatísticos	54
Resultados	54
Discussão	59
Conclusão	61
Agradecimentos	62
Referências Bibliográficas	62
Capítulo 4. Estudo Empírico 3	67
Resumo	69
Abstract	70
Introdução	71
Métodos	73
Resultados	77
Discussão	80
Conclusões	83
Referências bibliográficas	84

Capítulo 5. Discussão Geral	91
Referências bibliográficas	97
Capítulo 6. Conclusão	101
Capítulo 7. Sugestões para futuros estudos	105

Índice de figuras

Capítulo 2

Figura 1 – Pacer2Swim (KulzerTec) utilizado pelos nadadores para controlo da velocidade.....	31
Figura 2 – Analisador de gases portátil (K4b ² , Cosmed, Roma, Itália) conectado ao nadador e momento de coleta de sangue capilar para análise das concentrações de lactato sanguíneo (painéis da direita e da esquerda, respectivamente).....	32
Figura 3 – Concentração de lactato sanguíneo vs. velocidade (painel da esquerda) e frequência cardíaca vs. velocidade (painel da direita) para nadadores com deficiência motora (classes S6 a S10).....	33

Capítulo 3

Figura 1 – Esquema de pontos articulares marcados no nadador (baseado no modelo de Zatsiorsky et al., 1990 adaptado por de Leva, 1996).....	51
Figura 2 – Ilustração do posicionamento das câmeras e estrutura de calibração na piscina.....	52
Figura 3 – Visão aérea e subaquática (painel superior e inferior, respectivamente) da estrutura de calibração, mostrando os 24 pontos de calibração do sistema Ariel Performance Analysis System.....	53
Figura 4 – Diferenças de médias estandardizadas, intervalos de confiança e tamanho do efeito das comparações entre as distâncias de 100 e 175 m em cada	

patamar do protocolo incremental para distância de ciclo, frequência gestual e variação intracíclica da velocidade.....	58
--	----

Capítulo 4

Figura 1 – Exemplo da determinação dos pontos de inflexão das concentrações de lactato ($[La^-]_{inflex}$), consumo de oxigênio ($VO_{2inflex}$), frequência gestual (FG_{inflex}) e distância de ciclo (DC_{inflex}) durante o protocolo incremental...	76
---	----

Figura 2 – Diferenças de médias estandardizadas (DME), 90% intervalo de confiança (IC), tamanho do efeito e probabilidades das comparações entre as intensidades baixa a moderada e severa para a velocidade, concentração de lactato sanguíneo, consumo de oxigênio, frequência cardíaca, ventilação pulmonar (VE), produção de dióxido de carbono (VCO_2), coeficiente respiratório (R), frequência gestual, distância de ciclo, variação intracíclica da velocidade no nado crawl.....	78
--	----

Figura 3 – Representação das médias (linhas centrais pontilhadas), plotadas através do Bland-Altman, e concordância de 95% (linhas tracejadas) entre a velocidade ao $[La^-]_{index}$ e a velocidade ao VO_{2index} , DC_{index} e FG_{index}	79
--	----

Índice de tabelas

Capítulo 1

Tabela 1 – Classificação Funcional (S1-S10) de nadadores com deficiência motora, de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional (IPC).....	5
Tabela 2 – Resumo da estrutura e dos conteúdos incluídos na dissertação.....	14

Capítulo 2

Tabela 1 – Valores individuais e médios \pm desvios-padrão dos principais parâmetros fisiológicos avaliados através do protocolo intermitente incremental.....	34
---	----

Capítulo 3

Tabela 1 – Valores extraídos a partir do modelo de reconstrução do centro de massa (Zatsiorsky et al., 1990, adaptado por de Leva, 1996).....	51
Tabela 2 – Médias e respectivos desvios padrão dos parâmetros cinemáticos (distância de ciclo e frequência gestual) e da variação intracíclica da velocidade nas distâncias de 100 m e 175 m de cada patamar do protocolo 6 X 200 m crol (30 s intervalo).....	55
Tabela 3 – Diferenças de médias estandardizadas, intervalos de confiança e tamanho do efeito das comparações entre os patamares do protocolo incremental aos 100 m e 175 m para distância de ciclo, frequência gestual e variação intracíclica da velocidade.....	57

Capítulo 4

Tabela 1 – Valores médios e respectivos desvios padrão das variáveis fisiológicas e cinemáticas estudadas às intensidades baixa a moderada e severa.....	77
---	----

Resumo

A presente dissertação teve como propósito realizar uma caracterização biofísica de nadadores com deficiência motora, utilizando um protocolo incremental de 6 x 200 m. Avaliou-se os parâmetros bioenergéticos e biomecânicos, além das variações intracíclicas de velocidade em diferentes intensidades de nado. Para a avaliação do consumo de oxigênio utilizou-se um analisador portátil de gases telemétrico conectado a um snorkel respiratório. As amostras de sangue capilar do lóbulo auricular foram colhidas para análise das concentrações de lactato. Para a captação das imagens e posterior análise dos parâmetros biomecânicos utilizou-se seis câmaras de vídeo, 4 subaquáticas e 2 aéreas. As imagens foram tratadas através do software Ariel Performance Analysis System (APAS), utilizando a frequência de 50 Hz. Os principais resultados apontam que os valores referentes aos dados metabólicos e ventilatórios aumentaram com a intensidade do nado obtendo-se valores mais elevados no domínio severo de exercício, comparativamente com o nado a uma intensidade baixa a moderada. Relativamente aos aspetos biomecânicos, os principais achados indicam que os nadadores modificam a distância de ciclo e frequência gestual, quando do aumento da velocidade entre os patamares e também entre as distâncias de 100 e 175 m de cada patamar de 200 m. Há uma tendência à estabilização da variação intracíclica da velocidade com o aumento da velocidade ao longo dos patamares. Os estudos também evidenciam uma interrelação entre as mudanças dos parâmetros fisiológicos e biomecânicos na transição do limiar aeróbio de nadadores com deficiência motora. **Conclusão:** Os resultados indicam que os parâmetros estudados estão interrelacionados e influenciam diretamente o desempenho de nadadores com deficiência motora. Os resultados podem contribuir para alargar o campo da avaliação permitindo maior exatidão na prescrição e controlo do treino, favorecendo aos treinadores e nadadores a elaboração de estratégias e ações que objetivem a melhoria do desempenho de nadadores com deficiência motora.

Palavras-chave: BIOENERGÉTICA, BIOMECÂNICA, DEFICIÊNCIA MOTORA, NADADORES, DESEMPENHO.

Abstract

The purpose of this dissertation was to accomplish a biophysical characterization of physical disability swimmers using an incremental protocol of 6 x 200 m. The bioenergetic parameters (oxygen consumption and blood lactate concentrations) and biomechanical parameters (stroke length and stroke frequency) were evaluated, beyond the intracyclic velocity variation in different swimming intensities. For the evaluation of the oxygen consumption, a portable telemetry gas analyzer connected to a respiratory snorkel. Capillary blood samples from the atrial lobe were collected for analysis of lactate concentrations. In order to capture the images and later analysis of the biomechanical parameters six video cameras, four underwater and two above cameras were used. The images were treated using Ariel Performance Analysis System (APAS) software, using the frequency of 50 Hz. The main results indicate that the values regarding metabolic and ventilatory data increased with swimming intensity, obtaining higher values in the severe exercise domain, compared to the swimming at moderate intensity. Considering the biomechanical aspects the main findings indicate that swimmers modify the stroke length and stroke frequency when increasing the speed between the levels and also between distances of 100 and 175 m from each 200 m landing. There is a tendency to stabilize the intracyclic velocity variation, with increasing velocity along the levels. The studies also show an interaction between changes in physiological and biomechanical parameters in the transition of the aerobic threshold of swimmers with physical disability. Conclusion: The results indicate that bioenergetic and biomechanical parameters directly influence the performance of physical disability swimmers. The parameters studied contribute to broaden the field of evaluation allowing greater accuracy in the prescription and control of the training contributing to trainers and swimmers to create strategies and actions that aim to improve the performance of physical disability swimmers.

Keywords: BIOENERGETICS, BIOMECHANICS, PHYSICAL DISABILITY, SWIMMERS, PERFORMANCE.

Lista de abreviaturas e símbolos

NPD	Natação Pura Desportiva
Nadpt	Natação Adaptada
SCF	Sistema de Classificação Funcional
IPC	Comitê Paralímpico Internacional
S	Swimming
SB	Nado bruços
SM	Medley
PC	Paralisia Cerebral
(CP – ISRA)	Cerebral Palsy – International Sports and Recreation Association
ISOD	International Sports Organization for the Disabled
V	Velocidade de nado
Ė	Dispêndio energético
E	Eficiência mecânica propulsiva total
D	Força de arrasto hidrodinâmico
C	Custo energético
VO₂	Consumo de oxigénio
S	Segundos
VO_{2máx}	Consumo máximo de oxigénio
[La⁻]	Concentrações de lactato sanguíneo
-	Menos
LAn	Limiar anaeróbio
mmol.l	Mili mol
DC/SL	Distância de ciclo/stroke length
FG/SF	Frequência gestual/stroke frequency
VIV/IVV	Variação Intracíclica da Velocidade/Intracyclic Velocity Variation
FADEUP	Faculdade de Desporto da Universidade do Porto
FC/HR	Frequência Cardíaca/Heart Rate
R	Quociente respiratório
VE	Ventilação
FR	Frequência Respiratória

\pm	Mais ou menos
Kg	Quilograma
M	Metro
°C	Grau Celsius
%	Porcentagem
[La]_{máx}	Concentrações máximas de lactato sanguíneo
m.s⁻¹	Metros por segundo
DP	Desvio padrão
\leq	Menor ou igual que
min	Minuto
bpm	Batimento por minuto
\geq	Maior ou igual
vVO_{2máx}	Velocidade mínima que induz o consumo máximo de oxigénio
vLAn	Velocidade ao limiar anaeróbio
VCO₂	Volume de produção de dióxido de carbono
MS	Membros Superiores
\sim	Aproximadamente
3D	Três dimensões
Hz	Hertz
APAS	Ariel Performance Analysis System
DLT	Direct Linear Transformation
CO₂	Dióxido de carbono
DME/SMD	Diferenças de Médias Estandarizadas/Standard Mean Difference
IC	Intervalo de Confiança
>	Maior
ESCI	Exploratory Software for Confidence Intervals

Capítulo 1. Introdução

Introdução

Justificação e pertinência do estudo

Analisar e caracterizar o esforço realizado em uma determinada modalidade esportiva passou a ser determinante para todos aqueles que querem planejar e orientar as cargas de treino com vistas ao desempenho. Com base no conhecimento específico das solicitações de cada modalidade desportiva é que poderemos orientar todo o processo de preparação dos atletas para as competições. A investigação científica assume, portanto, um papel fundamental para o entendimento do fenômeno desportivo (Vilas-Boas, 1997).

Quando se avalia atletas torna-se indispensável a aplicação de testes sistemáticos e específicos que valorizem suas diferentes funções. É necessário obter informações valiosas sobre aspectos particularmente relevantes para a melhoria do desempenho. Assim, analisa-se: as adaptações fisiológicas a máxima solicitação; diferentes respostas fisiológicas que estão condicionadas com as variáveis biológicas como sexo, peso, idade; resposta funcional que caracteriza a prestação competitiva; especificidade, validade e confiabilidade dos testes realizados; identificação e verificação dos aspectos fisiológicos e biomecânicos relevantes a planificação, programação e controle do treino; identificação das capacidades físicas ou coordenativas inerentes a modalidade. A Natação Pura Desportiva (NPD) é uma modalidade desportiva, cíclica, contínua, individual e singular, a medida que se desenvolve na complexidade do ambiente aquático. A locomoção neste meio nos oferece grande e interessante desafio para a compreensão do movimento humano, apresentando atualmente, papel de grande relevância no campo da investigação científica, e vem sendo tradicionalmente estudada sob dois importantes aspectos: bioenergéticos, com métodos que envolvem o estudo dos componentes energéticos necessários ao deslocamento no meio aquático (Pendergast et al., 2003) e biomecânicos, com métodos que se interessam pela compreensão dos determinantes mecânicos do movimento (Zamparo et al., 2006).

Caracterizada por uma grande especificidade, onde na sua estruturação os nadadores são divididos por um sistema de classificação funcional, de acordo com o nível da deficiência (Daly et al., 1998), a Natação Adaptada (Nadpt) tem ocupado destaque no cenário desportivo nos últimos anos, nomeadamente ao nível competitivo mais elevado, despertando o interesse crescente dos pesquisadores em compreender como os diferentes impedimentos físicos limitam o desempenho esportivo. Os estudos, sejam com nadadores paralímpicos ou aspirantes a estes, seguem paralelamente aos estudos da NPD. Na Nadpt os nadadores são avaliados, por uma equipe multidisciplinar composta por médicos, fisioterapeutas e professores de educação física, que utilizam um conjunto de testes clínicos e físicos (musculares, de coordenação motora ou disfunção motora), teste de mobilidade articular, medição do tronco e membro amputado e testes técnicos motores realizados dentro da água, com o objetivo de nivelar os nadadores de acordo com as suas capacidades remanescentes e dividi-los dentro de um Sistema de Classificação Funcional (SCF). O SCF foi introduzido na década de 80 com o objetivo de minimizar as diferenças existentes entre os nadadores e tem sofrido constante evolução, buscando dar credibilidade as competições através de uma classificação mais justa (Abrantes et al., 2006; Daly et al., 1998). A nomenclatura da classificação funcional na Nadpt segue um padrão definido pelo Comitê Paralímpico Internacional (IPC) composto por um prefixo seguido de um número. Esse prefixo indica em qual prova o nadador com deficiência motora irá competir, indo de S1 a S10 para nado livre, costas ou mariposa, SB1 a SB9 para bruços, SM1 a SM10 para medley. A classificação funcional é inversamente proporcional ao grau da deficiência. Quanto menor a classe maior o grau da deficiência. Na Nadpt o nadador pode ter classificações diferentes para o nado bruços (SB) e o Medley (SM). A Nadpt é o único esporte que combina amputação, paralisia cerebral, espinha bífida, lesão medular e nanismo, entre as classes funcionais (Layman, 2012). O Quadro 1 apresenta a classificação funcional de nadadores com deficiência motora, de acordo com o IPC.

Tabela 1 – Classificação Funcional (S1-S10) de nadadores com deficiência motora, de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional (IPC)

Classe	Padrão motor da classificação funcional na natação
S1	Nadadores nesta classe esportiva sofrem uma perda significativa de força muscular ou controle nas pernas, braços e mãos. Alguns atletas também têm controle de tronco limitado. Isso pode ser causado pela tetraplegia. Nadadores nesta classe geralmente usam uma cadeira de rodas na vida diária
S2	Nadadores nesta classe esportiva contam principalmente com os braços para nadar. Sua mão, tronco e função da perna são limitadas por problemas de tetraplegia ou de coordenação
S3	Esta classe esportiva inclui atletas com amputações de braços e pernas. Nadadores com razoável lesão nos braços, mas que não utilizam pernas ou tronco e nadadores com graves problemas de coordenação em todos os membros
S4	Os nadadores que podem usar seus braços e têm uma função parcial em suas mãos, mas que não podem usar o tronco ou as pernas e atletas com amputações de três membros.
S5	Nadadores com baixa estatura e deficiência adicional, com perda de controle de controle em um lado do corpo (hemiplegia) ou paraplegia
S6	Esta classe inclui nadadores com baixa estatura ou amputações de ambos os braços, ou problemas moderados de coordenação em um lado do corpo
S7	Atletas com amputação de uma perna e braço em lados opostos ou uma paralisia de um braço e uma perna do mesmo lado; atletas com controle total de braços e tronco e alguma função de perna
S8	Nadadores com amputação de um braço e nadadores com restrições significativas nas articulações do quadril, joelho e tornozelo
S9	Nadadores com restrições articulares em uma perna ou com amputação das duas pernas, abaixo do joelho
S10	Nadadores com deficiências físicas mínimas. Inclui perda de uma mão ou uma restrição de movimento em uma articulação do quadril

¹ S significa swimming

Definida como um conjunto de alterações do movimento e postura decorrentes de lesões não progressivas, ocorridas no cérebro durante sua maturação estrutural e funcional, com consequentes desordens do sistema músculo esquelético a Paralisia Cerebral (PC) pode ocorrer nos períodos pré, peri ou pós natal, afetando o sistema nervoso central durante as fases de maturação tanto estrutural como funcional. Estas alterações são em sua maioria sensório-motoras, afetando o tônus muscular, postura e a movimentação voluntária (Bax et al., 2005). Observa-se déficit no controle dos movimentos, por alterações no sistema de adaptação do comprimento da musculatura, chegando até a ocorrerem deformidades ósseas (Mancini et al., 2002). Sob aspectos fisiopatológicos, as alterações neuromotoras podem comprometer partes distintas do corpo (Assis-Madeira & Carvalho, 2009). Tal especificidade, também, pode ser observada com relação a amputação. Na Nadpt, a classificação funcional de nadadores com PC, segue as determinações da Cerebral Palsy – International Sports and Recreation Association (CP – ISRA). Fatores neurológicos, espasticidade e coordenação, se misturam e são considerados na classificação funcional de nadadores com PC.

Similarmente aos nadadores com PC, nadadores amputados também apresentam especificidades com relação as partes do corpo comprometidas. Na Nadpt o SCF para nadadores amputados segue as determinações da International Sports Organization for the Disabled (ISOD). São nove classes funcionais e dois tipos de classificação que observam altura e comprimento do membro amputado. Quanto maior for o nível da lesão maior a desvantagem biomecânica. Nadadores amputados, diferentemente de nadadores não amputados, apresentam assimetria entre o lado do membro afetado e não afetado, propiciando desequilíbrios musculares. Solicitando mais acentuadamente o lado do membro não amputado, nadadores amputados alteram a biomecânica do nado, ocasionando desvios posturais, o que pode ocasionar lesões (Prins & Murata, 2008).

Na natação competitiva, seja ela NPD ou Nadpt, a performance está diretamente relacionada com a capacidade do nadador em gerar propulsão suficiente para superar as forças de resistência hidrodinâmica, percorrendo uma distância pré

definida no menor tempo possível. Portanto, o objetivo principal da locomoção na natação competitiva é maximizar a propulsão e minimizar o arrasto hidrodinâmico, dada a capacidade metabólica finita, conforme expresso na equação do rendimento (Di Prampero et al., 1974):

$$v = \dot{E} * (e * D^{-1}) \quad (1)$$

v = velocidade de nado; \dot{E} = dispêndio energético; e = eficiência mecânica propulsiva total e D = força de arrasto hidrodinâmico que se opõe ao deslocamento do nadador.

Esse pressuposto nos mostra a importância da economia do nado como um determinante fundamental para o desempenho na natação. Esse desempenho tem sido tradicionalmente avaliado como custo energético (C) do exercício, definido como a quantidade de energia gasta para transportar a massa corporal de um sujeito por unidade de distância (Di Prampero, 1986).

$$C = \dot{E} / v \quad (2)$$

O C tem sido usado como preditor bioenergético de desempenho na locomoção humana, seja em ambientes terrestres como aquáticos, sendo fundamental para compreendermos o rendimento desportivo na natação (Alexander, 2005; Di Prampero, 1986; Zamparo et al., 2005). Já a análise da capacidade técnica do nadador, seja na NPD ou Nadpt, baseia-se em estudos biomecânicos.

Os primeiros estudos sobre a caracterização fisiológica do nadador tiveram início nas décadas de 1920-40 e de uma forma muito rudimentar, usando metodologias e protocolos avaliativos que procuravam avaliar o consumo de oxigênio (VO_2) (cf. Sousa et al., 2014). Atualmente, o VO_2 tem sido alvo de investigação em diversos estudos na área da NPD (Fernandes et al., 2008; Sousa et al., 2013). Mais recentemente, a avaliação do VO_2 , particularmente a baixas e moderadas intensidades, e ultimamente também em domínios de intensidades mais elevadas, tem sido bem documentada (cf. Sousa et al., 2014). Adicionalmente, de Jesus et al. (2014) compararam diferentes intervalos de análise de VO_2 , evidenciando que dos valores obtidos respiração a respiração e médias de 5, 10, 15, 20 e 30 s, as médias de 10 s são as ideais para serem utilizadas a

intensidades de nado baixas a moderadas e altas. Por outro lado, de Jesus et al. (2014) verificaram um comportamento distinto da cinética do VO_2 conforme a intensidade do nado: após o início do exercício há um aumento súbito do VO_2 , seguido de uma estabilidade quando o exercício se executa a intensidades de nado baixas a moderadas, mas, nos domínios de intensidade alto e severo, após a componente rápida no VO_2 , aparece uma componente lenta de crescimento deste parâmetro. Durante o nado a intensidade extrema (acima do consumo máximo de oxigénio - $\text{VO}_{2\text{máx}}$), há um aumento evidente e abrupto do VO_2 , não existindo tempo para a sua estabilização (Ribeiro et al., 2015). Chatard et al. (1992) avaliaram o VO_2 em situação de nado numa amostra subdividida em três grupos, cada grupo com duas classes, sendo (i) S1 e S2, (ii) S3 e S4, e (iii) S5 e S6, tendo concluído que a velocidade correspondente ao $\text{VO}_{2\text{máx}}$ se relaciona ao nível da deficiência, o que é determinante para a performance destes nadadores. Paralelamente, com o avanço das pesquisas, do conhecimento científico e tecnológico, diversos estudos (e.g. Pyne et al., 2001a; Ribeiro, Figueiredo, Sousa, de Jesus, et al., 2015; Toubekis et al., 2006) procuraram caracterizar alguns fatores fisiológicos que influenciam diretamente o rendimento desportivo dos nadadores utilizando-se da recolha de sangue capilar, através de punção do lóbulo auricular ou do dedo (para avaliação das concentrações de lactato sanguíneo - $[\text{La}^-]$) e coleta de gases respiratórios por oximetria direta (para análise da ventilação e do VO_2). A medição das $[\text{La}^-]$ é um procedimento bastante atual, sendo utilizado para avaliar o estado de treinamento do nadador em diferentes áreas bioenergéticas, nomeadamente para determinar o limiar anaeróbio (LAn) de nadadores em diferentes escalões etários (Fernandes et al., 2008; Fernandes et al., 2010; Pyne et al., 2001b; Toubekis et al., 2006) e, também de triatletas (Martin & Whyte, 2000).

O valor de 4 mmol.l^{-1} de $[\text{La}^-]$ proposto por Mader et al. (1978) tem sido usado por muitos investigadores nos últimos 30 anos, como sendo o mais indicado para avaliar e controlar a lactatemia de exercício ao LAn de nadadores e outros praticantes de desportos individuais e cíclicos. Existem vários estudos (Foster et al., 1999) que apontam para 4 mmol.l^{-1} de $[\text{La}^-]$ como o valor mais elevado no espectro de intensidade, a partir do qual as mesmas começam a aumentar

exponencialmente. Sabendo que o acúmulo, a nível muscular das $[La^-]$ acontece de uma forma individualizada (e.g. Simon, 1997; Stegmann et al., 1981), estando condicionado as intensidades e duração do exercício, limitações físicas (como amputações), mobilidade e funcionalidade, podem fazer com que nadadores com deficiência motora tenham uma diferenciação na acumulação deste catabólico (Garatachea et al., 2006). Apesar da existência de uma já extensa literatura caracterizando fisiologicamente nadadores sem deficiência, estudos envolvendo nadadores com deficiência motora, nadando em diferentes intensidades de nado ainda são bastante escassos.

Os estudos na área da biomecânica da natação também assumem um papel de grande relevância para a avaliação da técnica do nado e o controle do treino, sendo um dos principais aspectos a serem considerados em qualquer programa de treino (Fernandes et al., 2011). Investigadores na área da biomecânica e treinadores estão constantemente buscando informações sobre quais parâmetros interferem no desempenho dos nadadores, para que possam intervir e incrementar a eficiência do nado (Barbosa et al., 2008), permitindo aos nadadores ascender a maiores resultados desportivos. Assim, os estudos dos fatores mecânicos que condicionam a cinemática do centro de massa assumem papel de destaque. Em uma competição de natação, o êxito do resultado está diretamente relacionado ao tempo. Desta forma, a relação entre a v e os parâmetros biomecânicos como distância de ciclo (DC) e frequência gestual (FG) são referenciais para o desempenho competitivo.

Diversos estudos descritos na literatura caracterizam a eficiência dos parâmetros biomecânicos gerais (FG e DC), relacionando-os a v (Toussaint et al., 2006). Na década de 1970, Craig & Pendergast (1979) sugeriram que a técnica do nado crol, comparada a outras técnicas de nado, é aquela que apresenta maior FG e DC. Outros estudos descrevem que a produção de v pela combinação da FG e DC é altamente individualizada e depende das características individuais do nadador (Chollet et al., 1996; Kennedy et al., 1990). Para Arellano et al. (1994) o sucesso dos nadadores no estilo livre está associado a DC mais longa, velocidades médias mais elevadas e uma maior estatura.

Daly et al. (1998) foram o pioneiro a avaliar a relação entre a v, FG e DC em nadadores paralímpicos, concluindo que a v aumenta com o aumento da DC. Pelayo et al. (1999) avaliaram os parâmetros biomecânicos gerais (DC e FG) relacionando-os com a v, em nadadores com deficiência motora de alto nível e compararam os resultados com os obtidos para nadadores sem deficiência, e verificou que para a FG não houve diferenças significativas entre os dois grupos, e também concluíram, que a DC estava relacionada com a v. Prins & Murata (2008) investigaram a DC e FG e observaram que a ausência parcial ou total de um membro propulsor pode ocasionar alterações dos resultados para esses parâmetros. Osborough et al. (2009) analisaram as relações entre v, DC e FG no nado crol, em nadadores com amputação unilateral de braço e as relações destas com as características antropométricas, tendo concluído que estes nadadores, por serem privados de importante membro propulsor, a v aliada a FG, comparativamente a DC torna-se mais importante para influenciar o resultado competitivo. Também demonstraram não haver nenhuma correlação entre a DC e as características antropométricas. Burkett et al. (2010) verificaram que nadadores da classe S10, no início da prova apresentam velocidades similares durante o deslize, comparativamente aos nadadores olímpicos. Também observaram ainda que os nadadores das classes S9 e S8 apresentam velocidades inferiores, provavelmente pela dificuldade em manter o alinhamento corporal. Neste estudo, Burkett et al. (2010) analisaram as diferentes deficiências dentro das classes mostrando que essas diferenças podem mascarar algumas características da performance desportiva.

Também é de se observar que a v não é constante, quer seja durante as provas, quer seja durante cada ciclo gestual. Existe uma variação da v também com expressão intracíclica, portanto, v está relacionada com a FG e a DC e depende da capacidade do nadador para gerar forças propulsivas que superem as resistidas, tendo consequência direta na variação intracíclica da velocidade (VIV) (Zamparo et al., 2006).

Essa variação ocorre dada a variação de nado ser a expressão cinemática das forças propulsivas e das forças de D que estão constantemente mudando (Fujishima et al., 1999b). As forças propulsivas não se mantêm constantes

porque os segmentos motores do nadador, não se movimentam em uma velocidade constante e nem estão posicionados sempre na mesma direção, o que ocasiona uma frequente mudança na propulsão gerada (Nigg, 1983). A VIV ocasiona um aumento do trabalho mecânico realizado pelo nadador para transpor a inércia (Nigg, 1983). Assim, para alcançar uma velocidade média elevada, as forças propulsivas do nadador terão que ser superiores as forças de D a que se sujeita (Vilas-Boas et al., 2010). A VIV poderá ser considerada como uma medida de eficiência propulsiva influenciando diretamente o desempenho do nadador (Kornecki & Bober, 1978), sendo frequentemente utilizada para avaliar o desenvolvimento biomecânico e a coordenação técnica na natação, tendo sido anteriormente estudada por (Marques-Aleixo et al., 2013) em nadadores com Síndrome de Down e (Payton & Wilcox, 2006) em nadadores com deficiência motora da classe (S9). Nadadores com deficiência motora podem apresentar FG e DC irregulares de acordo com a ausência ou a falta de mobilidade de um ou vários segmentos do corpo, fatores que podem interferir na VIV. Diante dessa hipótese, torna-se importante a avaliação da VIV dos nadadores com deficiência motora.

Apesar de encontrarmos na literatura vários estudos que avaliam aspectos bioenergéticos ou biomecânicos de nadadores, poucos são aqueles que os avaliam conjuntamente. Barbosa et al. (2005) foram um dos pioneiros em analisar os diferentes estilos de nado, abordando aspectos bioenergéticos e biomecânicos, conjuntamente. Quando nos referimos a nadadores com deficiência motora, esses estudos são mais escassos ainda. Encontramos apenas um estudo de caso de (Figueiredo et al., 2014), que investigou o efeito da velocidade sobre as respostas fisiológicas e biomecânicas de um nadador com amputação unilateral.

Pelo exposto acima, e considerando as limitações funcionais e a dificuldade na mobilidade de um ou vários segmentos do corpo, a avaliação dos parâmetros bioenergéticos e biomecânicos de nadadores com deficiência motora, justificam essa pesquisa.

Objetivo do estudo

Realizar uma abordagem biofísica para a avaliação e compreensão integrada da locomoção ao nível da natação adaptada, combinando a análise dos parâmetros bioenergéticos e biomecânicos no nado crol em um grupo de nadadores com deficiência motora.

Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação está de acordo com as normas orientadoras de redação e apresentação de dissertações da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto. O modelo para configuração da dissertação foi o escandinavo, composto por “artigos prontos para publicação em revistas com revisão de pares e, se possível, indexadas e com fator de impacto” (FADEUP, 2009).

Os artigos já publicados ou submetidos para publicação foram apresentados com a formatação das citações e das referências bibliográficas de acordo com as normas de publicação das respectivas revistas.

A dissertação foi dividida em 7 partes:

Capítulo 1: Introdução Geral

Constituiu a introdução, de maneira geral, da presente dissertação, onde foi abordado o enquadramento teórico, justificativa, pertinência/propósito do estudo, além de serem elencados alguns aspectos bioenergéticos e biomecânicos relevantes estudados na Natação Pura Desportiva (NPD) e na Natação Adaptada (Nadpt), enfatizando nadadores com deficiência motora.

Capítulo 2: Estudo empírico 1

Composto por um capítulo de livro intitulado: “Caracterização fisiológica de nadadores com deficiência motora”. Este estudo surgiu da necessidade de se verificar os aspectos bioenergéticos estudados na

NPD e Nadpt, com ênfase ao estudo dos parâmetros ventilatórios: consumo de oxigênio (VO_2), frequência cardíaca (FC), quociente respiratório (R), ventilação (VE), frequência respiratória (FR) e parâmetros metabólicos-concentração de lactato sanguíneo (La^-), limiar anaeróbio (LAn), em nadadores com deficiência motora.

Capítulo 3: Estudo empírico 2

Composto por um artigo intitulado: “Caracterização biomecânica de nadadores com deficiência motora”. Este estudo trará a caracterização dos parâmetros cinemáticos, nomeadamente a frequência gestual (FG) e a distância de ciclo (DC), relacionando-as a velocidade de nado (v) em diferentes intensidades de nado. Enfatizaremos também neste capítulo, a variação intracíclica da velocidade (VIV).

Capítulo 4: Estudo empírico 3

Composto por um artigo intitulado “Determinantes biofísicos do nado crol de nadadores com deficiência motora”. Este estudo compara os parâmetros bioenergéticos, nomeadamente o consumo de oxigênio (VO_2), concentrações de lactato sanguíneo (La^-), consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{máx}}$), limiar anaeróbio (LAn) com os parâmetros cinemáticos, frequência gestual (FG), distância de ciclo (DC) e também a variação intracíclica da velocidade (VIV), nas intensidades de nado baixa a moderada e severa.

Capítulo 5: Discussão Geral

São discutidos, interpretados e analisados, os principais resultados obtidos no estudo, além de verificar se o objetivo proposto foi atingido, evidenciando sua contribuição para o conhecimento científico.

Capítulo 6: Conclusões

Embasadas nos resultados parciais e dados obtidos nos estudos realizados.

Capítulo 7: Sugestões para futuros estudos

São indicadas sugestões para futuras investigações que possam contribuir e ampliar os estudos que avaliam nadadores com deficiência motora.

Tabela 2 – Resumo da estrutura e dos conteúdos incluídos na dissertação.

Capítulo 1 Introdução
Introdução abrangendo a justificação e pertinência do estudo, objetivos do estudo e estrutura da dissertação.
Capítulo 2 Estudo empírico 1
Junior, V., de Jesus, K., Zacca, R., Marques, T., Corredeira, R., Daly, D.J., Fernandes, R.J. (2016). Caracterização fisiológica de nadadores com deficiência motora. In Pedro Mourouço, P., Batalha, N. & Fernandes, R.J. (eds), <i>Natação e Atividades Aquáticas: Pedagogia, Treino e Investigação</i> . pp.183-194. ESECS/Instituto Politécnico de Leiria.
Capítulo 3 Estudo empírico 2
Junior, V., Medeiros, A., de Jesus, K., Corredeira, R., Daly, D.J., Fernandes, R.J. (2017). Caracterização biomecânica de nadadores com deficiência motora.

Capítulo 4 Estudo empírico 3
Júnior, V., Medeiros, A., Corredeira, R., Daly, D.J., Fernandes, R. J. (2017). Determinantes biofísicos do nado crol em nadadores com deficiência motora.
Capítulo 5 Discussão geral
Discussão dos resultados referentes aos dados bioenergéticos e biomecânicos obtidos no estudo com nadadores com deficiência motora ao longo do protocolo incremental.
Capítulo 6 Conclusão
Apresenta os resultados mais relevantes obtidos no estudo.
Capítulo 7 Sugestões para futuros estudos
Apresentação de sugestões para futuras investigações sobre o tema proposto.

Referências Bibliográficas

- Abrantes, G. M., da Luz, L. M. R., & Barreto, M. M. (2006). *Natação paraolímpica: Manual de orientação para professores de educação física* Brasília: Comitê Paraolímpico Brasileiro.
- Alexander, R. (2005). Models and the scaling of energy costs for locomotion. *Journal of Experimental Biology*, 208, 1645-1652.
- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., & Nelson, R. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 189-199.
- Assis-Madeira, E., & Carvalho, S. (2009). Paralisia cerebral e fatores de risco ao desenvolvimento motor: Uma revisão teórica *Cadernos de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento*, 9(1), 142-163.
- Barbosa, T., Fernandes, R., Morouco, P., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: A pilot study. *Journal of Sport Science and Medicine*, 7, 201-209.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaco, P., Carmo, C., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Relationships Between Energetic, Stroke Determinants, and Velocity in Butterfly. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 841-846.
- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., & Leviton, A. (2005). Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(8), 571-576.
- Burkett, B., Mellifont, R., & Mason, B. (2010). The influence of swimming start components for selected Olympic and paralympic swimmers. *Journal of Applied Biomechanics*, 2, 134-141.
- Chatard, J. C., Lavoie, J. M., Ottoz, H., Randaxhe, P., Cazorla, G., & Lacour, J. R. (1992). Physiological aspects of swimming performance for persons with disabilities. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(11), 1276-1282.

- Chollet, D., Pelayo, P., & Tourney, C. (1996). Comparative analysis of 100m and 200m events in the four strokes in top level swimmers. *Journal of Human Movement Studies* 31, 25–37.
- Craig, A., & Pendergast, D. (1979). Relationship of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports* 11(3), 278-283.
- Daly, D., Malone, L., Vanlandewijck, Y., & Steadward, R. (1998). Analysis of the mean's 100m freestyle at the 1996 Atlanta Paralympic Games. *Biomchanics and Medicine in Swimming*.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. (2014). Which are the best VO2 sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1031-1036.
- Di Prampero, P. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 55-72.
- Di Prampero, P. E., Pendergast, D. R., Wilson, D. R., & Rennie, D. W. (1974). Energetics of swimming in man. *Journal of Applied Physiology*, 37(1), 1-5.
- Fernandes, R., Keskinen, K., Colaço, P., Querido, A., Machado, L., & Morais, P. (2008). Time limit at VO2 velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
- Fernandes, R., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in 10-11 years-old swimming. *European Journal of Sports Science*, 10(5), 311-317.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *Int J Sports Med*, 32(12), 940-946.
- Figueiredo, P., Willig, R., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2014). Biophysical characterization of a swimmer with a unilateral arm amputation: a case study. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(6), 1050-1053.

- Foster, C., Fitzgerald, D., & Spatz, P. (1999). Stability of the blood lactate heart rate relationship in competitive athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(4), 578-582.
- Fujishima, M., Sato, Y., & Miyashita, M. (1999a). Improvement of wave absorption by a new lane-marker covered with mesh. In *In Biomechanics and medicine in swimming VIII. Proceedings of the VIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, University of Jyväskylä, Finland, June 28 - July 2, 1998, University of Jyväskylä. Department of Biology of Physical Activity*, p.129-134. Finland.
- Fujishima, M., Sato, Y., & Miyashita, M. (1999b). *Improvement of wave absorption by a new lane-marker covered with mesh*. Comunicação apresentada em In *In Biomechanics and medicine in swimming VIII*, Finland.
- Garatachea, N., Abadia, O., Garcia-Isla, F. J., Sarasa, F. J., Bresciani, G., Gonzalez-Gallego, J., & De Paz, J. A. (2006). Determination and validity of critical swimming velocity in elite physically disabled swimmers. In *Disabil Rehabil* (Vol. 28, pp. 1551-1556). England.
- Kennedy, P., Brown, P., Chengalur, S., & Nelson, R. (1990). Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6(2), 187–197.
- Kornecki, S., & Bober, T. (1978). Extreme velocities of a swimming cycle as a technique criterion. In B. Eriksson & B. Furberg (Eds.), *Swimming medicine IV* (pp. 402–407). Baltimore: University Park Press.
- Layman. (2012). Layman's guide to paralympic classification Consult. 03/11/2017, disponível em https://www.paralympic.org/sites/default/files/document/120716152047682_ClassificationGuide_2.pdf
- Mader, A., Heck, H., & Hollman, W. (1978). Evaluation of lactic acid anaerobic anergy contribution by determination of pos exercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. In F. Landry & W. Orban (Eds.), *Exercise Physiology* (pp. 187-200). Miami: Symposia Specialists

- Mancini, M., Fiúza, P., Rebelo, J., Magalhães, L., Coelho, Z., & Paixão, M. (2002). Comparação do Desempenho de Atividades Funcionais Em Crianças Com Desenvolvimento Normal e Crianças Com Paralisia Cerebral. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 60, 446-452.
- Marques-Aleixo, I., Querido, A., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Corredeira, R. (2013). Intracyclic velocity variation and arm coordination assessment in swimmers with down syndrome. *Adpted Physical Activity Quarterly*, 30(70-84).
- Martin, L., & Whyte, G. (2000). Comparison of critical swimming velocity and velocity lactate threshold in elite triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 366 -368.
- Nigg, B. (1983). Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. In A. Hollander, P. Huijing & G. Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 72-80): Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Osborough, C., Payton, C., & Daly, D. (2009). Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers, with selected anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 304-312.
- Payton, C., & Wilcox, C. (2006). Intracyclic speed fluctuations of uni-lateral arm amputee front crawl swimmers. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(1), 53-54.
- Pelayo, P., Sidney, M., Moretto, P., Wille, F., & Chollet , D. (1999). Stroking parameters in top level swimmers with a disability. *Physical Fitness and Performance*, 31(12), 1839-1843.
- Pendergast, D. R., Di Prampero, P. E., Craig, A. B., Wilson, D. R., & Rennie, D. W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 43(3), 475-479.
- Pendergast, D. R., Zamparo, P., Di Prampero, P. E., Capelli, C., Cerretelli, P., & Termin, A. (2003). Energy balance of human locomotion in water. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 377-386.

- Prins, J., & Murata, N. (2008). Stroke Mechanics of Swimmers with Permanent Physical *Palaestra*, 24(1), 19-25.
- Pyne, D., Lee, H., & Swanwick, K. (2001a). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 291-297.
- Pyne, D., Lee, H., & Swanwick, K. (2001b). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 291-297.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Sousa, A., Monteiro, J., Pelarigo, J., Vilas-Boas, J. P., Toussaint, H. M., & Fernandes, R. F. (2015). VO(2) kinetics and metabolic contributions during full and upper body extreme swimming intensity. *European Journal of Applied Physiology*, 115(5), 1117-1124.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Sousa, M., de Jesus, K., Keskinen, K., Vilas Boas, J. P., & Fernandes, R. (2015). Metabolic and ventilatory thresholds assessment in front crawl swimming. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(7), 701-707.
- Simon, G. (1997). *The role of lactate testing in swimming* Comunicação apresentada em XII FINA World Congress on Sports Medicine, Goteborg, Sweden
- Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2014). Critical evaluation of oxygen uptake assessment in swimming. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 9(2), 190-202.
- Sousa, A., Jesus, K., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Cinética do consumo de oxigênio a intensidades de nado moderada e extrema. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 19(3), 186-190.
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 160-165.
- Toubekis, A., Tsami, A., & Tokmakidis, S. (2006). Critical velocity and lactate threshold in young swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 117-123.

- Toussaint, H., Carol, A., Kranenborg, H., & Truijens, M. (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in arm-only 100-m front-crawl race. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(9), 1635-1642.
- Vilas-Boas, J. (1997). *Estado actual da investigação científica sobre técnica desportiva em natação*. Comunicação apresentada em Comunicacions de IV Congresso Ibérico e XVII Congresso Técnico de Asociacion Espanhola de Técnicos de Natação Camargo – Cantabria.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Barbosa, T. (2010). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. In L. Seifert, D. Chollet & I. Mujika (Eds.), *World book of swimming: from science to performance*: Nova Science Publishers.
- Zamparo, P., Pendergast, D., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. (2005). An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1-2), 134-144.
- Zamparo, P., Pendergast, D. R., Termin, A., & Minetti, A. E. (2006). Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. *European Journal of Applied Physiology*, 96(4), 459-470.

Capítulo 2 . Estudo Empírico 1

Caracterização fisiológica de nadadores com deficiência motora

Valdir Junior^{1,2}, Kelly de Jesus^{1,2}, Rui Corredeira³, Daniel J. Daly⁴, Ricardo J. Fernandes^{1,2}

¹Centro de Pesquisa, Educação, Inovação e Intervenção em Desporto. Faculdade de Desporto. Universidade do Porto, Porto, Portugal

²Laboratório de Biomecânica do Porto. Universidade do Porto, Porto, Portugal

³ Centro de Investigação em Atividade Física, Saúde e Lazer. Faculdade de Desporto. Universidade do Porto.

⁴ Universidade Católica de Leuven, Bélgica

Resumo

O objetivo desse estudo foi realizar uma caracterização fisiológica de nadadores com deficiência motora em diferentes intensidades de nado. Método: Participaram 13 nadadores masculinos com deficiência motora filiados na Federação Portuguesa de Natação. Os sujeitos tinham 22.5 ± 7.9 anos de idade, 61.8 ± 11.9 kg de massa corporal e 1.70 ± 1.24 m de altura, estando classificados, de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional (IPC), nas seguintes classes funcionais: S6 (n = 1), S7 (n = 1), S8 (n = 4), S9 (n = 6) e S10 (n = 1). As sessões experimentais decorreram numa piscina de 25 m coberta e aquecida (27°C), com profundidade de 1.90 m e humidade relativa de 45%. Resultados: Os valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ encontrados foram menores que os da literatura para sem deficiência, evidenciando que nadadores com deficiência motora têm dificuldade em manter e sustentar um esforço aeróbio máximo. O grau de deficiência motora mostrou ter influência na velocidade de nado a que os nadadores se propulsionavam. As $[\text{La}^-]$ aumentaram com o aumento da velocidade em todas as classes. Os nadadores obtiveram valores de $[\text{La}^-]_{\text{max}}$ no final do teste incremental entre 5 e 9 mmol.l^{-1} . Os dados metabólicos e ventilatórios aumentaram a medida que a intensidade de nado subia (de patamar para patamar). A FC respondeu linearmente com o aumento dos parâmetros metabólicos e ventilatórios ao longo das diferentes intensidades de nado. Conclusão: As variáveis fisiológicas estudadas, nomeadamente o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e as $[\text{La}^-]$ estão relacionados, influenciando diretamente o desempenho de nadadores com deficiência motora. O grau e a magnitude da deficiência influenciam fortemente o rendimento desportivo. Os parâmetros estudados, aliados a outros (nomeadamente os biomecânicos), permitirão alargar o campo de avaliação, contribuindo com maior exatidão na prescrição e controlo do treino de nadadores com deficiência motora.

Palavras-chave: DEFICIÊNCIA MOTORA, PARÂMETROS FISIOLÓGICOS, NADADORES.

Abstract

Objective: The objective of this study was to realize a physiological characterization of swimmers with physical disability in different swim intensities.

Method: 13 male swimmers with physical disability affiliated to the Portuguese Swimming Federation participated. The people were 22.5 ± 7.9 years old, 61.8 ± 11.9 kg of body mass and 1.70 ± 1.24 m of height, being classified according to the International Paralympic Committee (IPC) in the following functional classes: S6 (n = 1) , S7 (n = 1), S8 (n = 4), S9 (n = 6) and S10 (n = 1). The experimental sessions took place in a 25 m covered and heated pool (27°C), with depth of 1.90 m and relative humidity of 45%.

Results: The values of $\text{VO}_{2\text{max}}$ found were lower than those in the literature for healthy swimmers, evidencing that swimmers with physical disability have difficulties to maintain and sustain a maximal aerobic effort. The degree of physical disability was shown to have an influence on the swim speed at which swimmers propelled. Higher velocities were found in the swimmers with less expressive motor disability and this difference in the velocity of the crawl technique was explained by their bigger or smaller functional impairment. The $[\text{La-}]$ increased with increasing speed in all classes. In opposition to this agreement, swimmers obtained values of $[\text{La-}]$ max at the end of the incremental test between 5 and 9 mmol.l^{-1} , which are (on average) below 8 mmol.l^{-1} . As the swimming intensity increased (from lap to lap), the VE , VCO_2 and R increased linearly. In fact, at intensities above LAn , lactic acid production coincides with an increase in the cellular and venous CO_2 values, resulting in an acceleration of the increase in VCO_2 , usually accompanied by an increase in VE and R . HR responded linearly with increased metabolic and ventilatory parameters throughout the different swimming intensities, corroborating with the literature. The values of VE , VCO_2 , R and HR are below those reported in able-bodied swimmers, which can be explained by the fact that swimmers in the current study have a significant functional impairment.

Conclusion: the studied physiological parameters, namely $\text{VO}_{2\text{max}}$, $[\text{La-}]$ and HR , are related, directly influencing the performance of swimmers with physical- disability. The degree and magnitude of disability strongly influences sports performance. The

parameters studied, allied to others (biomechanics in particular), will allow to broaden the field of evaluation, allowing greater accuracy in the prescription and control of the training, contributing to a more objective training process and a more significant improvement in the sports performance of physically disability swimmers.

Keywords: PHYSICAL DISABILITY; PHYSIOLOGICAL PARAMETERS, SWIMMERS.

Introdução

A avaliação de nadadores e o controlo do treinamento são procedimentos frequentemente utilizados para avaliar objetivamente o resultado do desempenho competitivo em natação, o qual é determinado fundamentalmente por parâmetros fisiológicos e biomecânicos (Fernandes & Vilas-Boas, 2006). Os parâmetros fisiológicos são, de facto, de fundamental importância para obtenção de bons resultados desportivos, sendo dos mais estudados em atividades aquáticas em geral e em natação pura desportiva em particular. Datam já das décadas de 1920-40 os primeiros estudos sobre a caracterização fisiológica do nadador, os quais procuraram avaliar o seu consumo de oxigénio (VO_2) através de metodologias e protocolos avaliativos muito rudimentares sob o ponto de vista atual (cf. Sousa et al., 2014).

Mais recentemente, com o avanço do conhecimento científico e tecnológico, vários estudos procuraram caracterizar fisiologicamente alguns fatores influenciadores do rendimento dos nadadores utilizando, para tal, recolha de sangue capilar através de punção do lóbulo auricular ou do dedo (para avaliação das concentrações de lactato sanguíneo - $[\text{La}^-]$) e coleta de gases respiratórios por oximetria direta (para análise da ventilação e do VO_2). A medição das $[\text{La}^-]$ é um procedimento bastante utilizado nos nossos dias, permitindo avaliar o estado de treinamento do nadador em diferentes áreas bioenergéticas, nomeadamente para determinar o limiar anaeróbio de nadadores em diferentes escalões etários (Fernandes et al., 2008; Fernandes et al., 2010; Pyne et al., 2001; Toubekis et al., 2006) e, também, de triatletas (Martin & Whyte, 2000).

Durante vários anos existiu a crença, por parte de vários investigadores e treinadores, que o valor médio de 4 mmol.l^{-1} proposto por Mader et al. (1978) seria o mais indicado para corresponder à lactatemia de exercício ao limiar anaeróbio. De facto, existem vários estudos em que as 4 mmol.l^{-1} de $[\text{La}^-]$ são tidas como o valor mais elevado no espectro de intensidade a partir do qual as mesmas começam a aumentar exponencialmente (Foster et al., 1999). No entanto, sabendo-se que o acúmulo das $[\text{La}^-]$ a nível muscular é um processo

altamente individualizado (e.g. Simon, 1997; Stegmann et al., 1981), condicionando diretamente a intensidade e a duração do exercício, a ausência de um membro corporal e/ou limitações de mobilidade e funcionalidade do mesmo, podem fazer com que a acumulação deste catabolito possa diferir em nadadores com deficiência motora (Garatachea et al., 2006).

Por outro lado, a avaliação do VO_2 , particularmente a intensidades baixas e moderadas, mas ultimamente também em domínios de intensidade mais elevados, tem sido bem documentada (cf. Sousa et al., 2014). Complementarmente, de Jesus et al. (2014) compararam diferentes intervalos de análise do VO_2 , evidenciando que, dos valores obtidos respiração a respiração e médias de 5, 10, 15, 20 e 30 s, as médias de 10 s são as ideais de serem utilizadas a intensidades de nado baixas a moderadas e altas. Por outro lado, de Jesus et al. (2014) verificaram um comportamento distinto da cinética do VO_2 conforme a intensidade do nado: após o início do exercício há um aumento súbito do VO_2 seguido de uma estabilidade quando o exercício se executa a intensidades de nado baixas a moderadas, mas, nos domínios de intensidade alto e severo, após a componente rápida no VO_2 aparece uma componente lenta de crescimento deste parâmetro. Durante o nado à intensidade extrema (acima do consumo máximo de oxigénio - $\text{VO}_{2\text{max}}$), há um aumento evidente e abrupto do VO_2 durante o nado, não existindo tempo para a sua estabilização (Ribeiro et al., 2015).

Apesar de uma já extensa literatura relativamente à caracterização fisiológica de nadadores sem deficiência, as informações disponíveis em nadadores com deficiência motora, nadando a diferentes intensidades de exercício são praticamente inexistentes. Considerando que a avaliação de parâmetros fisiológicos (como as $[\text{La}^-]$ e o VO_2) poderão trazer *inputs* importantes para melhor se compreender (e desenvolver) o rendimento desportivo na natação adaptada, procuramos com o presente estudo caracterizar fisiologicamente nadadores com deficiência motora em várias intensidades de nado.

Métodos

Amostra

Participaram neste estudo 13 nadadores masculinos com deficiência motora filiados na Federação Portuguesa de Natação. Os sujeitos tinham 22.5 ± 7.9 anos de idade, 61.8 ± 11.9 kg de massa corporal e 1.70 ± 1.24 m de altura, estando classificados, de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional (IPC), nas seguintes classes funcionais: S6 (n = 1), S7 (n = 1), S8 (n = 4), S9 (n = 6) e S10 (n = 1). Todos os sujeitos foram previamente informados acerca do protocolo experimental, tendo dado o seu consentimento escrito para participar (no caso dos menores de idade o mesmo foi solicitado ao encarregado de educação). O protocolo experimental foi aprovado pelo comitê de ética da instituição local.

Instrumentos e procedimentos

As sessões experimentais decorreram numa piscina de 25 m coberta e aquecida (27°C), com profundidade de 1.90 m e humidade relativa de 45%. Depois dos nadadores serem pesados utilizando uma balança de bioimpedância InBody R20 (Biospace Co, Ltd., Seoul, Korea) e medidos com uma fita métrica convencional, realizaram um protocolo incremental intermitente de n x 200 m crol, com 30 s de intervalo e incrementos de $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ entre cada repetição de 200 m (Fernandes et al., 2003; Figueiredo et al., 2013). A velocidade do último patamar foi estabelecida de acordo com o melhor tempo do momento de cada nadador aos 400 m livres, sendo que a velocidade dos patamares anteriores foi calculada subtraindo-se $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à velocidade dos 200 m finais. Durante o protocolo foi utilizado um sistema de luzes intermitentes colocado no fundo da piscina e distantes entre si 1.5 m (Pacer2Swim, KulzerTec, Aveiro, Portugal) auxiliando os nadadores a manterem o ritmo de nado desejado.

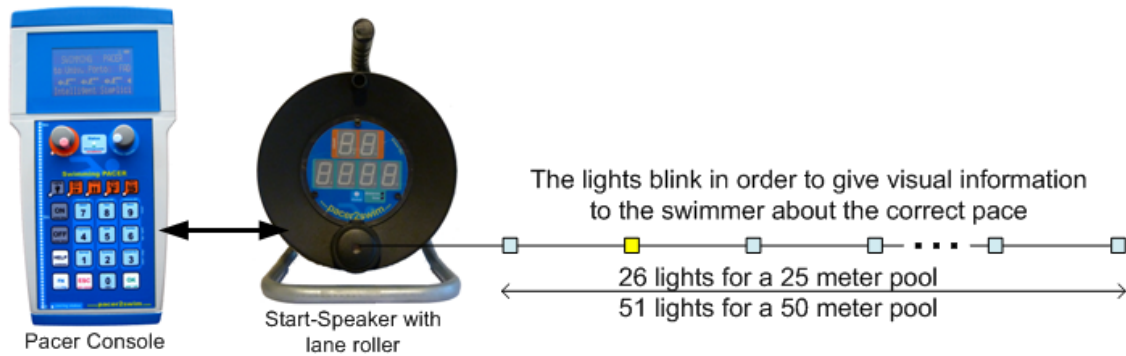


Figura 1 – Pacer2Swim (KulzerTec) utilizado pelos nadadores para controlo da velocidade.

Os dados ventilatórios foram registrados respiração-a-respiração direta e continuamente através de um analisador portátil de gases telemétrico (K4b², Cosmed, Roma, Itália) conectado a um snorkel respiratório (AquaTrainer Snorkel®, Cosmed, Roma, Itália) e a frequência cardíaca (FC) foi medida por telemetria (Polar Vantage NV, Polar Eletro Oy, Kempele, Finlândia, ligado ao K4b²). Para reduzir o ruído dos dados ventilatórios foram considerados apenas os valores de VO_2 situados entre a média ± 4 DP sendo, posteriormente, suavizados usando uma média móvel de três respirações em períodos de 5 s (Fernandes & Vilas-Boas, 2012). Depois destes procedimentos, considerou-se a média correspondente ao último minuto de exercício como sendo o valor máximo obtido em cada patamar do protocolo incremental.

O $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi considerado atingido de acordo com critérios fisiológicos primários e secundários, nomeadamente a ocorrência de um *plateau* no VO_2 (independentemente do aumento da velocidade de nado, $\leq 2.1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), elevados valores de $[\text{La}^-]$ ($\geq 8 \text{ mmol.l}^{-1}$), elevado quociente respiratório ($R \geq 1$), elevada FC (superior a 90% dos valores teóricos máximos [$220 - \text{idade}$]) e exaustão visualmente perceptível (Howley et al., 1995). A intensidade de nado correspondente à velocidade mínima de nado a que é atingido o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$) foi aceite como sendo a correspondente ao patamar em que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi alcançado (Fernandes & Vilas-Boas, 2012).

Amostras de sangue capilar do lóbulo auricular foram colhidas para análise das $[La^-]$ em vários momentos, nomeadamente em repouso, nos intervalos entre patamares e aos 3, 5 e 7 min após o teste. As amostras foram analisadas através de um doseador de lactato portátil Lactate Pro 1 (Arkay, inc., Kyoto, Japão), sendo então possível calcular o limiar anaeróbio individual através do método de modelação da curva das $[La^-]$ vs. velocidade, correspondendo ao ponto de interseção da combinação de duas regressões, uma linear e uma exponencial (cf. Machado et al., 2006).

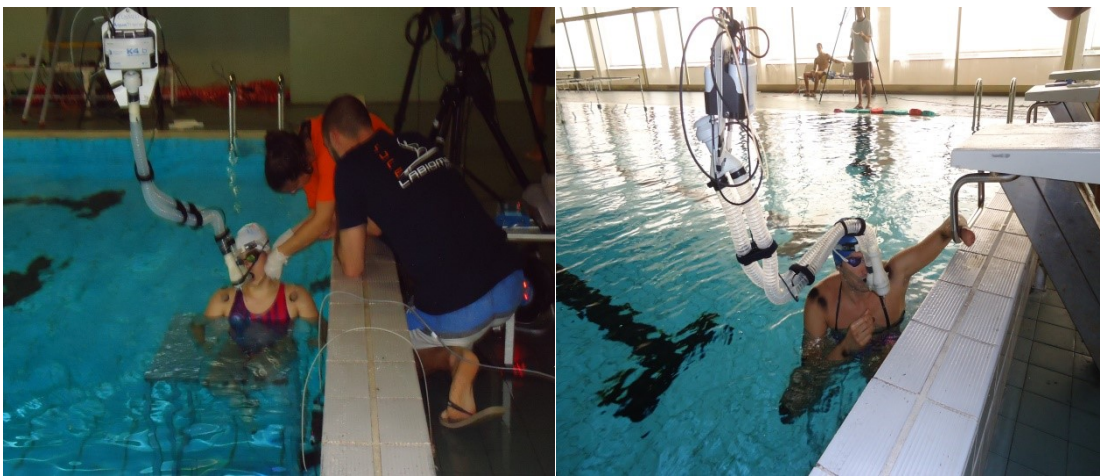


Figura 2 – Analisador de gases portátil (K4b², Cosmed, Roma, Itália) conectado ao nadador e momento de coleta de sangue capilar para análise das concentrações de lactato sanguíneo (painéis da direita e da esquerda, respectivamente).

Procedimentos estatísticos

Inicialmente, foi realizada estatística descritiva (média \pm desvio padrão) para todas as variáveis em estudo das classes S8 e S9, tendo sido verificada a normalidade da sua distribuição através do teste de Shapiro–Wilk. Posteriormente, a estatística inferencial foi realizada utilizando o T-teste de medidas independentes com o objectivo de verificar possíveis diferenças entre os dois grupos (S8 e S9). Nas classes S6, S7 e S10, foram incluídos apenas os valores absolutos dos nadadores. Para análise dos dados foi utilizado o programa SPSS (versão 21). Foi estabelecido um nível de significância de 0.05.

Resultados

Na Figura 3 estão apresentadas as curvas de $[La^-]$ e FC vs. velocidade (painéis da esquerda e da direita, respectivamente) para todos os nadadores estudados. As diferentes classes de deficiência físico-motora analisadas estão devidamente identificadas.

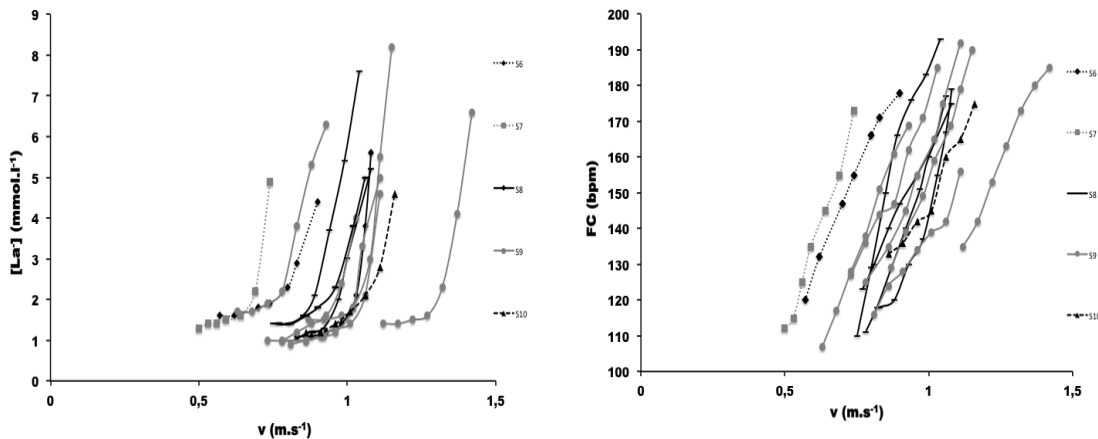


Figura 3 – Concentração de lactato sanguíneo vs. velocidade (painel da esquerda) e frequência cardíaca vs. velocidade (painel da direita) para nadadores portadores de deficiências físico-motoras (classes S6 a S10).

Complementarmente, parâmetros que permitem caracterizar fisiologicamente os nadadores com deficiência motora ao longo do espectro de intensidade baixo-moderado-alto-severo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores individuais e médios \pm desvios-padrão dos principais parâmetros fisiológicos avaliados através do protocolo intermitente incremental.

Variáveis	S6 (n=1)	S7 (n=1)	S8 (n=4)	S9 (n=6)	S10 (n=1)
[La]LAn (mmol.l ⁻¹)	2.3	1.6	2.3 \pm 1.0	2.3 \pm 1.2	1.7
[La]max mmol.l ⁻¹)	4.4	4.9	5.9 \pm 1.9	6.4 \pm 2.6	3.6
vLAn (m.s ⁻¹)	0.8	0.7	0.9 \pm 0.0	1.0 \pm 0.1	1.0
VO ₂ LAn (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	41.01	29.8	36.4 \pm 1.1	39.0 \pm 4.3	26.3
VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	52.1	41.0	47.0 \pm 4.0	48.7 \pm 6.9	35.1
vVO ₂ max (m.s ⁻¹)	0.9	0.7	1.1 \pm 0.0	1.1 \pm 0.1	1.1
VE LAn (l.min)	64.2	45.6	57.6 \pm 2.2	60.9 \pm 25.8	39.6
VEVO ₂ max (l.min)	81.9	74.8	89.6 \pm 17.7	86.7 \pm 39.5	62.5
VCO ₂ LAn (l.min)	2315.7	1480.1	2209.7	4961.0 \pm 6863.1	1305.9
VCO ₂ VO ₂ max (l.min)	2518.4	2143.4	2969.0	2745.1 \pm 1000.1	1887.3
RLAn	0.9	0.9	0.9 \pm 0.1	0.9 \pm 0.0	0.9
RVO ₂ max	0.9	0.9	1.0 \pm 0.1	1.0 \pm 0.1	1.1
FCLAn (bpm)	166.0	143.0	150.6 \pm 15.4	136.9 \pm 51.9	145.0
FCVO ₂ max (bpm)	178.0	173.0	179.5 \pm 10.4	159.4 \pm 50.2	175.0

[La]LAn e [La]max – concentração de lactato sanguíneo correspondente ao limiar anaeróbio individual e ao seu valor máximo, vLAn – velocidade correspondente ao limiar anaeróbio individual, VO₂ LAn e VO₂max - consumo de oxigênio correspondente a velocidade do limiar anaeróbio individual e seu valor máximo (ambos relativizado ao peso corporal), vVO₂máx – velocidade mínima correspondente o VO₂max, VELAn e VE VO₂máx – ventilação pulmonar correspondente ao limiar anaeróbio individual e ao consumo máximo de oxigênio, VCO₂LAn e VCO₂VO₂max – produção de dióxido de carbono correspondente ao limiar anaeróbio individual e ao consumo máximo de oxigênio, RLAn e RVO₂max – coeficiente respiratório correspondente ao limiar anaeróbio individual e ao consumo máximo de oxigênio, FCLAn e FCVO₂max – frequência cardíaca correspondente ao limiar anaeróbio individual e ao consumo máximo de oxigênio.

Os resultados mostraram não haver diferenças estatisticamente significativas entre as classes S8 e S9 para todas as variáveis em estudo.

Discussão

O desempenho na natação pura desportiva está altamente influenciado por condicionantes biomecânicas e bioenergéticas (Fernandes & Vilas-Boas, 2006). Na natação adaptada, os nadadores apresentam prejuízos físico-motores que variam em gravidade e consequências funcionais, acarretando grande desafio aos treinadores para a respetiva prescrição e controlo do treino. O objetivo do presente estudo foi caracterizar fisiologicamente nadadores com deficiência

motora na técnica do crol num espectro bioenergético situado nos domínios de intensidade mais utilizados em situação de treino: as áreas bioenergéticas de intensidade baixa-moderada, alta e severa. Complementarmente, procurou-se verificar eventuais diferenças fisiológicas entre classes de deficiência motora.

Os nadadores da presente amostra eram indivíduos com deficiências motoras com graus distintos, embora pertencendo às mesmas classes regulamentadas pelo IPC. Para a classe S9, por exemplo, dois nadadores eram amputados unilaterais de mãos, outros dois apresentavam amputação unilateral de membros inferiores (acima do joelho), um outro possuía distrofia muscular e o sexto espinha bífida. O grau de deficiência física mostrou ter influência na velocidade de nado a que os nadadores se propulsionavam. De facto, verificaram-se as velocidades mais altas (quer ao LAn quer ao VO_{2max}) em nadadores pertencentes às classes superiores (deficiência motora menos expressiva), parecendo essa diferença na velocidade da técnica do crol ser explicada pelo maior ou menor comprometimento funcional. De igual forma, também se poderá referir que os nadadores com deficiência motora que apresentam assimetrias corporais (causadas pela ausência parcial ou total de membros), parecem apresentar dificuldades na manutenção do equilíbrio horizontal, aumentando o esforço que tem de realizar para manterem o padrão respiratório, o alinhamento corporal e, conseqüentemente, a velocidade de nado (Pendergast et al., 2005; Zamparo et al., 2009b).

O valor de $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} [\text{La}^-]$ proposto por Mader et al. (1978) tem sido usado numa grande quantidade de estudos dos últimos 30 anos como sendo o *gold standard* para se determinar, avaliar e controlar o LAn de nadadores (e praticantes de outros desportos individuais e cíclicos). No entanto, os resultados do presente estudo corroboram a literatura no que se refere a existir uma elevada variabilidade inter-individual nas $[\text{La}^-]$ correspondentes ao LAn (Simon, 1997; Stegmann et al., 1981) e ao facto de, em nadadores treinados aerobiamente, esse valor ser substancialmente inferior (Fernandes et al., 2011; Figueiredo et al., 2013). Complementarmente, considerando que a massa corporal é diferente entre amputados de mão e amputados de membro inferior acima do joelho, e levando-se em consideração que o acúmulo de $[\text{La}^-]$ depende da musculatura

envolvida durante o exercício (Ohkuma & Itoh, 1982), pode-se suspeitar que as características dos diferentes graus de deficiência dos nadadores das classes inferiores limitam a ativação neuromuscular quando comparados aos nadadores das classes mais superiores. Também é de sublinhar que, como esperado (Di Prampero, 1986; Fernandes & Vilas-Boas, 2006; Figueiredo et al., 2013), as $[La^-]$ aumentaram com o aumento da velocidade em todas as classes. Em oposição a esta concordância, os nadadores obtiveram valores de $[La^-]_{max}$ no final do teste incremental entre 5 e 9 mmol.l⁻¹, os quais são (em média) inferiores aos 8 mmol.l⁻¹, valor tradicionalmente utilizado como critério para obtenção de intensidade de nado correspondente ao VO_{2max} (Fernandes et al., 2003; Fernandes et al., 2008). Este facto pode ser explicado pela menor massa muscular dos sujeitos envolvidos, nomeadamente pela ausência ou comprometimento dos seguimentos propulsivos, mas também à menor experiência em situação de avaliação e controlo do treino, levando a uma degradação da técnica de nado em estádios superiores, terminando o protocolo aquém do desejado.

Como esperado, quer as $[La^-]$, quer o VO_2 , aumentaram com a intensidade de nado, obtendo-se valores mais elevados no domínio severo de exercício comparativamente com o nado a uma intensidade moderada, isto é, às velocidades correspondentes ao VO_{2max} e ao LAn, respectivamente. No entanto, os valores de VO_{2max} encontrados foram menores que os da literatura para nadadores sem motora (e.g. Sousa et al., 2014), evidenciando que nadadores com deficiência motora têm dificuldade para manter e sustentar um esforço aeróbio máximo. Este facto pode estar relacionado com as áreas bioenergéticas a que, tradicionalmente, o processo de treino de nadadores se circunscreve, muito centrados no desenvolvimento da capacidade aeróbia. De facto, desde há vários anos que a comunidade científica vem alertando para o desfasamento entre as zonas bioenergéticas desenvolvidas no treino e as utilizadas em competição (Costill, 1999), alertando que a maioria dos treinadores não atribui a importância devida às intensidades de nado que procurem o desenvolvimento de processamento de energia de origem oxidativa (potencia aeróbia) e, muito menos, ao desenvolvimento da atividade enzimática responsável pela glicólise e da capacidade muscular para manter o exercício em ambientes fisiológicos e

celulares adversos – potência e capacidade anaeróbias, respectivamente (Vilas-Boas, 2000). Os valores das $vLAN$ e vVO_{2max} também estão abaixo dos valores reportados na literatura, o que se pode justificar pela diminuição da área propulsiva disponível, assim como pelas assimetrias corporais (causadas pela ausência parcial ou total de membros) que aumentam as dificuldades na manutenção do equilíbrio horizontal e o esforço para se manter o padrão respiratório, o alinhamento corporal e, conseqüentemente, a velocidade de nado (Pendergast et al., 2005; Zamparo et al., 2009a). Assim, e como sublinhado por outros autores (Rodríguez et al., 2015), um protocolo incremental visando a mensuração do VO_2 e das $[La^-]$ permite uma melhor compreensão dos fenómenos associados ao desenvolvimento da fadiga muscular devido à instalação da acidose metabólica. No presente estudo, à medida que a intensidade de nado subia (de patamar para patamar), a VE , VCO_2 e R aumentavam de forma linear. De facto, a intensidades acima do LAN , a produção de ácido láctico coincide com um aumento dos valores CO_2 celulares e venosos, resultando numa aceleração do incremento do VCO_2 , geralmente acompanhado de um aumento da VE e do R (Harvey, 2011). Adicionalmente, verificamos que a FC respondeu linearmente com o aumento dos parâmetros metabólicos e ventilatórios ao longo das diferentes intensidades de nado, corroborando a literatura da especialidade (e.g. Fernandes & Vilas-Boas, 2012; Libicz et al., 2005; Reis et al., 2012). Os valores de VE , VCO_2 , R e FC estão abaixo dos reportados em nadadores sem deficiências (e.g. Aspenes et al., 2009; Libicz et al., 2005), o que pode ser explicado pelo fato dos nadadores do presente estudo terem um comprometimento funcional significativo.

Não obstante a originalidade e relevância dos dados obtidos no presente estudo, e apesar de uma amostra constituída por 13 nadadores ser relevante dada à complexidade envolvida na avaliação fisiológica em condições ecológicas de nado, é reconhecido que um maior tamanho amostral será mais representativo da população, limitando a presença de outliers e/ou observações extremas. Assim sendo, sugere-se que no futuro (e caso existam) se aumente a quantidade de sujeitos em cada classe funcional, tendo que, para tal, se assegurar a

disponibilidade dos nadadores para a familiarização com as complexas recolhas de dados a realizar.

Conclusão

Os resultados do presente estudo indicam que os parâmetros fisiológicos estudados, nomeadamente o VO_{2max} , as $[La^-]$ e a FC, estão relacionados, influenciando diretamente o desempenho de nadadores com deficiência motora e que o grau e magnitude da deficiência influencia fortemente o rendimento desportivo. Os parâmetros estudados, aliados a outros (nomeadamente os biomecânicos), permitirão alargar o campo da avaliação, permitindo maior exactidão na prescrição e controlo do treino, contribuindo para um processo de treino mais objectivo e uma melhoria mais significativa do desempenho de nadadores com deficiência motora.

Agradecimentos

Esta investigação foi financiada pelo programa de bolsas de doutorado pleno no exterior (CAPES-MEC, Brasil) processo (11926/13-9).

Referências

- Aspenes, S. T., Kjendlie, P., Hoff, J., & Helgerud, J. (2009). Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 357-365.
- Costill, D. (1999). *Training adaptations for optimal performance*. Comunicação apresentada em VIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. (2014). Which are the best VO_2 sampling intervals to

- characterize low to severe swimming intensities? *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1031-1036.
- Di Prampero, P. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 55-72.
- Fernandes, R., Cardoso, C., Soares, S., Ascensão, A., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2003). Time limit and VO₂ slow component at intensities corresponding to VO₂max in swimmers *International Journal of Sports Medicine*, 24, 576-581.
- Fernandes, R., Keskinen, K., Colaço, P., Querido, A., Machado, L., & Morais, P. (2008). Time limit at VO₂ velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
- Fernandes, R., Keskinen, K., Colaço, P., Querido, A., Machado, L., Morais, P., Novais, D., Marinho, D., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Time limit at VO₂ velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
- Fernandes, R., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32(12), 940-946.
- Fernandes, R., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in 10-11 years-old swimming. *European Journal of Sports Science*, 10(5), 311-317.
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Tempo limite à intensidade mínima correspondente ao consumo máximo de oxigénio: novos desenvolvimentos num parâmetro de recente investigação em natação. *Motricidade*, 2(4), 214-220.
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Time to exhaustion at the VO₂max velocity in swimming: A review. *Journal of Human Kinetics*, 32, 121-134.

- Figueiredo, P., Morais, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Changes in arm coordination and stroke parameters on transition through the lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 1957-1964.
- Foster, C., Fitzgerald, D., & Spatz, P. (1999). Stability of the blood lactate heart rate relationship in competitive athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(4), 578-582.
- Garatachea, N., Abadia, O., Garcia-Isla, F. J., Sarasa, F. J., Bresciani, G., Gonzalez-Gallego, J., & De Paz, J. A. (2006). Determination and validity of critical swimming velocity in elite physically disabled swimmers. In *Disabil Rehabil* (Vol. 28, pp. 1551-1556). England.
- Harvey, J. (2011). A review: Analyzing how VO₂ kinetics limit exercise performance. *Journal of Exercise Physiology*, 14(3), 68-73.
- Howley, E., Bassett, D., & Welch, H. (1995). Criteria for maximal oxygen consumption uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1292-1301.
- Libicz, S., Roels, B., & Millet, G. (2005). VO₂ responses to intermittent swimming sets at velocity associated with VO₂max. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(5), 543-553.
- Machado, L., Almeida, M., Morais, P., Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Assessing the individual anaerobic threshold: the mathematical model. *Portuguese Journal of Sports Science*, 6, 142-144.
- Mader, A., Heck, H., & Hollman, W. (1978). Evaluation of lactic acid anaerobic anergy contribution by determination of pos exercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. In F. Landry & W. Orban (Eds.), *Exercise Physiology* (pp. 187-200). Miami: Symposia Specialists
- Martin, L., & Whyte, G. (2000). Comparison of critical swimming velocity and velocity lactate threshold in elite triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 366 -368.

- Ohkuma, T., & Itoh, H. (1982). Blood lactate, glycerol and catecholamine in arms strokes, leg kicks and whole crawl strokes. *J Sports Med Phys Fitness*, 32, 32-38.
- Pendergast, D., Mollendorf, J., Zamparo, P., Termin, A., Bushnell, D., & Paschke, D. (2005). The influence of drag on human locomotion in water. *Undersea Hyperbaric Medicine*, 32(1), 45-57.
- Pyne, D., Lee, H., & Swanwick, K. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 291-297.
- Reis, J., Alves, F., Bruno, P., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1689-1697.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Sousa, A., Monteiro, J., Pelarigo, J., Vilas-Boas, J. P., Toussaint, H. M., & Fernandes, R. F. (2015). VO(2) kinetics and metabolic contributions during full and upper body extreme swimming intensity. *European Journal of Applied Physiology*, 115(5), 1117-1124.
- Rodríguez, F., Iglesias, X., Feriche, B., Calderón-Soto, C., Chaverri, D., Waschmuth, N., Schmidt, W., & Levine, B. (2015). Altitude training in elite swimmers for sea level performance (altitude project). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1965-1978.
- Simon, G. (1997). *The role of lactate testing in swimming* Comunicação apresentada em XII FINA World Congress on Sports Medicine, Goteborg, Sweden
- Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2014b). Critical evaluation of oxygen uptake assessment in swimming. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 9(2), 190-202.
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 160-165.

- Toubekis, A., Tsami, A., & Tokmakidis, S. (2006). Critical velocity and lactate threshold in young swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 117-123.
- Zamparo, P., Gatta, G., Pendergast, D., & Capelli, C. (2009a). Active and passive drag: the role of trunk incline. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 195-205.
- Zamparo, P., Gatta, G., Pendergast, D., & Capelli, C. (2009b). Active and passive drag: the role of trunk incline. *European Journal of Applied Physiology*, 106(2), 195-20

Capítulo 3. Estudo Empírico 2

Caracterização biomecânica de nadadores com deficiência motora

Valdir Junior^{1,2,3}, Alexandre Medeiros³, Kelly de Jesus⁴, Rui Corredeira⁵, Daniel J. Daly⁶, Ricardo J. Fernandes^{1,2}

¹Centro de Pesquisa, Educação, Inovação e Intervenção em Desporto. Faculdade de Desporto. Universidade do Porto, Porto, Portugal

²Laboratório de Biomecânica do Porto. Universidade do Porto, Porto, Portugal

³Grupo de Pesquisa em Biodinâmica do Movimento Humano. Instituto de Educação Física e Esportes, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

⁴Laboratório de Estudo da Performance Humana, Faculdade de Educação Física e Fisioterapia, Universidade Federal do Amazonas, Brasil.

⁵Centro de Investigação em Atividade Física, Saúde e Lazer. Faculdade de Desporto. Universidade do Porto.

⁶Universidade Católica de Leuven, Bélgica

Resumo

A avaliação da técnica de nado é um dos principais aspectos a ter em consideração em qualquer programa de treino, sendo a biomecânica uma fonte importante de conhecimentos. **Objetivo:** caracterizar os parâmetros biomecânicos gerais (DC e FG) relacionando-os à velocidade de nado (v) em diferentes intensidades e analisar dentro de cada ciclo de nado a variação intracíclica da velocidade (VIV) em um grupo de nadadores com deficiência motora. **Método:** participaram neste estudo 8 nadadores masculinos (25.83 ± 2.93 anos de idade, 72.45 ± 9.26 kg de massa corporal e 1.79 ± 0.11 m de altura) com deficiência motora filiados na Federação Portuguesa de Natação. Os sujeitos foram classificados de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional nas seguintes classes funcionais: S6 ($n = 1$), S8 ($n = 2$), S9 ($n = 5$). As sessões experimentais decorreram numa piscina de 25 m coberta e aquecida (27°C), com profundidade de 1.90 m e humidade relativa de 85%. **Resultados:** com o aumento da velocidade os valores médios da DC diminuíram enquanto os valores médios da FG aumentaram, sendo semelhantes aos resultados encontrados para nadadores com amputação unilateral de braço, nadadores sem deficiência e nadadores de longa distância. Para atingir velocidades mais elevadas, nadadores com amputação de membro superior (S8 e S9) necessitam compensar a falta do segmento propulsivo e para isso, utilizam a FG para conseguirem aumentar sua velocidade de nado. Para os valores médios da VIV este estudo mostrou um decréscimo entre o primeiro e o segundo patamar, seguindo depois uma tendência à estabilização a partir do segundo até o sexto patamar, para a distância dos 100 m. Para a distância dos 175 m houve diminuição na VIV com o aumento da velocidade. **Conclusão:** a FG está directamente relacionada à magnitude da VIV. A VIV influencia directamente o rendimento desportivo.

Palavras-chave: DEFICIÊNCIA MOTORA, PARÂMETROS BIOMECÂNICOS, NADADORES.

Abstract

The evaluation of swimming technique is one of the main aspects to be considered in any training program, with biomechanics being an important source of knowledge. **Objective:** to characterize the biomechanical parameters (SL and SF) relating them to the swimming speed (v) at different intensities and to analyze within each swimming cycle the intracyclic velocity variation (IVV) in a group of physical-motor disabilities swimmers. **Method:** eighth male swimmers (25.83 ± 2.93 years old, 72.45 ± 9.26 kg body mass and 1.79 ± 0.11 m of height) participated in this study with physical-motor disability members of the Portuguese Swimming Federation. People were classified according to the International Paralympic Committee in the following functional classes: S6 ($n = 1$), S8 ($n = 2$), S9 ($n = 5$). The trial sessions took place in a 25 m indoor heated pool (27°C), with depth of 1.90 m and relative humidity of 85%. **Results:** in an increasing velocity the mean values of SL decreased while mean values of SF increased, being similar to the results found for swimmers with unilateral arm amputation, healthy swimmers and long distance swimmers. To achieve higher speeds, swimmers with upper limb amputation (S8 and S9) needed to compensate the lack of the propulsive segment using the SF in order to increase their swimming speed. For the mean values of IVV, this study showed a decrease between the first and second levels, followed by a tendency to stabilize from the 2nd to the 6th level, for the intensity of 100 m. For the 175 m intensity, there was a decrease in IVV with an increase in velocity. **Conclusion:** SF is directly related to the magnitude of IVV. IVV directly influences sports performance

Keywords: PHYSICAL DISABILITY; BIOMECHANICAL PARAMETERS, SWIMMERS.

Introdução

A avaliação da técnica de nado é um dos principais aspectos a ter em consideração em qualquer programa de treino (Fernandes et al., 2011) e uma das formas de o fazer é através da análise biomecânica. Um dos principais objetivos da avaliação biomecânica em natação pura desportiva (NPD) é caracterizar um determinado padrão de nado, de forma a incrementar a eficiência do mesmo (Barbosa et al., 2008). Esse aumento na eficiência de nado tem como última finalidade permitir que o nadador aceda níveis superiores de rendimento desportivo. Nesta conjuntura, um dos maiores interesses dos investigadores na área da biomecânica em NPD relacionados com a eficiência de nado, é o estudo dos fatores mecânicos que condicionam a cinemática do centro de massa, nomeadamente a relação entre a velocidade de nado (v), frequência gestual (FG) e distância de ciclo (DC) com o desempenho competitivo. Esse desempenho está diretamente relacionado com a capacidade do nadador em coordenar uma série complexa de movimentos corporais que visam maximizar a propulsão e minorizar a resistência hidrodinâmica. Para cada ciclo de nado da técnica e **crol** o nadador deve alternar as acções dos membros superiores (MS), manter os alinhamentos horizontal e lateral, e executar continua e alternadamente as acções de membros inferiores (MI) (Osborough et al., 2009).

Há diversos estudos que caracterizam a eficiência dos parâmetros biomecânicos gerais (FG e DC), relacionando-os com a v (e.g. Keskinen & Komi, 1993; Toussaint et al., 2006). Já na década de 1970, Craig & Pendergast (1979) sugeriram que a técnica de crawl, comparada a outras técnicas convencionais de nado, é aquela que apresenta maiores valores de FG e DC. Outros estudos descrevem que a v (pela combinação da FG e DC) é altamente individualizada, dependendo das características individuais do nadador (Chollet et al., 1996; Kennedy et al., 1990). Para Arellano et al. (1994), o sucesso dos nadadores na técnica de crawl está associado a DC mais longas, v médias mais elevadas e uma maior estatura. Num estudo mais recente com nadadores adolescentes, Laat et al. (2010) sugeriram que a variabilidade do desempenho nos 100 m crawl é explicada em ~90% por fatores biomecânicos.

Até a década de 1990, apesar de existir literatura extensa relativamente a caracterização biomecânica de nadadores sem deficiência poucos estudos analisaram nadadores com deficiência motora. Daly et al. (1998) foram os pioneiros a avaliar a relação entre a v , FG e DC em nadadores paralímpicos, concluindo que esta aumenta com a DC. Pelayo et al. (1999) também avaliaram os parâmetros biomecânicos gerais, relacionando-os com a v em nadadores com deficiência motora de alto nível e comparando-os com nadadores sem deficiência, verificando que não houve diferenças da FG entre os dois grupos e que a DC estava relacionada com v mais altas. Na técnica de crawl, a mão e o antebraço são consideradas as maiores superfícies propulsoras, sendo responsáveis por ~85% da propulsão total (Toussaint & Beek, 1992), pelo que a ausência parcial ou total dos segmentos propulsivos pode ocasionar alterações na DC e FG (Prins & Murata, 2008). Osborough et al. (2009) analisaram as relações entre v , DC e FG na técnica de crawl em nadadores com amputação unilateral de braço e as relações destas com as características antropométricas, tendo concluído que devido a privação de um importante membro propulsor, a v aliada a FG (comparativamente com a DC) é mais influenciadora do resultado competitivo, não tendo encontrado relação entre a DC e as características antropométricas.

Outro critério importante e amplamente aceite para o estudo biomecânico na NPD é a análise em cada ciclo de nado da variação intracíclica da velocidade (VIV) (Barbosa et al., 2006), a qual representa o trabalho mecânico do nadador para transpor o estado de inércia (Nigg, 1983). Assim, para alcançar uma velocidade média elevada, as forças propulsivas produzidas pelo nadador terão que ser superiores as forças de arrasto hidrodinâmico a que ele se sujeita (Vilas-Boas et al., 2010). Desta forma, a VIV poderá ser considerada como uma medida de eficiência propulsiva, influenciando diretamente o desempenho do nadador (Kornecki & Bober, 1978), sendo frequentemente utilizada para avaliar o desenvolvimento biomecânico e a coordenação em NPD. Nadadores com deficiência motora podem apresentar FG e DC irregulares de acordo com a ausência ou a falta de mobilidade de um ou vários segmentos propulsivos,

podendo interferir na VIV, pelo que se torna importante a avaliação da VIV nesta população.

Considerando a quase inexistência de literatura referente a nadadores com deficiência motora e o facto da avaliação dos parâmetros biomecânicos gerais (DC e FG) relacionados com a *v*, assim como com a VIV, poderão trazer respostas importantes para uma melhor compreensão e desenvolvimento do rendimento desportivo na natação adaptada, o presente estudo procurou fazer uma caracterização dos parâmetros biomecânicos gerais (DC e FG), relacionando-os com a *v* e com a VIV, em diferentes intensidades de nado. Diante desse objetivo hipotizou-se que: 1) a metodologia adotada permite determinar os parâmetros biomecânicos gerais (DC e FG) relacionando-os com a *v* em Nadpt. 2) os parâmetros FG e DC se alteram ao longo de um protocolo intermitente incremental. 3) Existe uma relação entre *v* e VIV em Nadpt ao longo do protocolo incremental.

Métodos

Amostra

Participaram neste estudo oito nadadores masculinos com deficiência motora (25.83 ± 2.93 anos de idade, 72.45 ± 9.26 kg de massa corporal e 1.79 ± 0.11 m de altura) filiados na Federação Portuguesa de Natação. Os sujeitos foram classificados de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional nas seguintes classes funcionais: S6 ($n = 1$), S8 ($n = 2$) e S9 ($n = 5$). Todos os nadadores foram previamente informados acerca do protocolo experimental, tendo dado o seu consentimento escrito para participar (no caso dos menores de idade o mesmo foi solicitado ao encarregado de educação). Todos os sujeitos estavam familiarizados com os procedimentos experimentais da testagem.

Instrumentos e procedimentos

As sessões experimentais decorreram numa piscina de 25 m coberta e aquecida (27°C), com profundidade de 1.90 m e humidade relativa de 85%. Depois dos nadadores serem pesados (utilizando uma balança de bioimpedância InBody R20; Biospace Co, Ltd., Seoul, Korea) e medidos (com uma fita métrica convencional) realizaram um protocolo incremental intermitente de 6 x 200 m crol, com 30 s de intervalo e incrementos de 0.05 m.s⁻¹ entre cada repetição de 200 m (Fernandes et al., 2003; Figueiredo et al., 2013). A velocidade do último patamar foi estabelecida de acordo com o melhor tempo do momento de cada nadador aos 400 m crol, sendo que a velocidade dos patamares anteriores foi calculada subtraindo-se 0.05 m.s⁻¹ à velocidade dos 200 m finais (Fernandes et al., 2003). Durante o protocolo foi utilizado um sistema de luzes intermitentes colocado no fundo da piscina e distantes entre si 1.5 m (Pacer2Swim, KulzerTec, Aveiro, Portugal) auxiliando os nadadores a manterem o ritmo de nado pré-definido.

Todos os sujeitos foram marcados com tinta e/ou fita preta em 18 pontos anatómicos (lado direito e esquerdo do corpo): acrómio, epicôndilo umeral lateral, processo estilóide da ulna, trocânter femoral (superfície externa), epicôndilo femoral lateral, maléolo lateral, falange distal e hallux, enquanto o vértice da cabeça foi marcado com uma fita preta na touca de natação. Os marcadores refletivos foram utilizados para melhorar a visualização da imagem, posterior digitalização e reconstrução em três dimensões (3D), tendo sido utilizados os 18 pontos de referência conforme representado na Figura 1 (em vez dos 21 pontos, normalmente usados e propostos por Zatsiorsky et al., 1990). Para a reconstrução 3D foram utilizados os percentuais de massa e posições dos segmentos corporais (Zatsiorsky et al., 1990; Tabela 1).

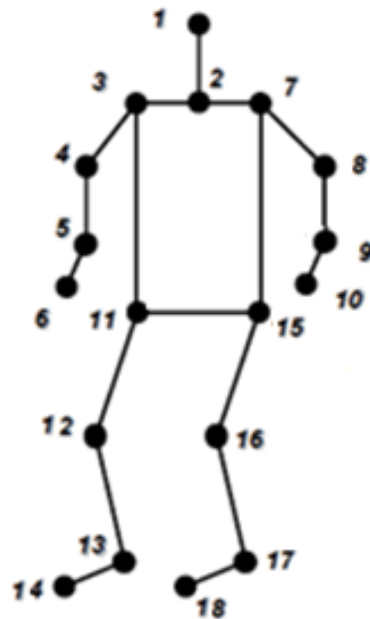


Figura 1 – Esquema de pontos articulares marcados no nadador (baseado no modelo de Zatsiorsky et al., 1990 adaptado por de Leva, 1996).

Tabela 1 – Valores extraídos a partir do modelo de reconstrução do centro de massa (Zatsiorsky et al., 1990, adaptado por de Leva, 1996).

	Massa (%)	Posição longitudinal do centro de massa (%)
Cabeça	6.94	59.76
Braço direito	2.71	57.72
Antebraço direito	1.62	45.74
Mão direita	0.61	79.00
Braço esquerdo	2.71	57.72
Antebraço esquerdo	1.62	45.74
Mão esquerda	0.61	79.00
Tronco	43.46	44.86
Coxa direita	14.16	40.95
Perna direita	4.33	44.59
Pé direito	1.37	44.15
Coxa esquerda	14.16	40.95
Perna esquerda	4.33	44.59
Pé esquerdo	1.37	44.15

Para recolha de imagens foram utilizadas seis câmeras vídeo (Sony® HDR CX160E, Tóquio, Japão; Figura 2), operando numa frequência de 50 Hz, com uma velocidade de obturador eletrônico de 1/250. Quatro câmeras subaquáticas protegidas por caixas à prova de água (Sony® SPK-CXB waterproof box, Tokyo, Japan) foram mantidas a 0.95 m abaixo da superfície da água e posicionadas a 5.00 e 0.60 m de distância das paredes frontais e laterais (respectivamente). Duas câmeras aéreas foram mantidas em um suporte a uma altura de 2.50 m e posicionadas a 2.10 e 1.10 m frontal e lateral da piscina (respectivamente).

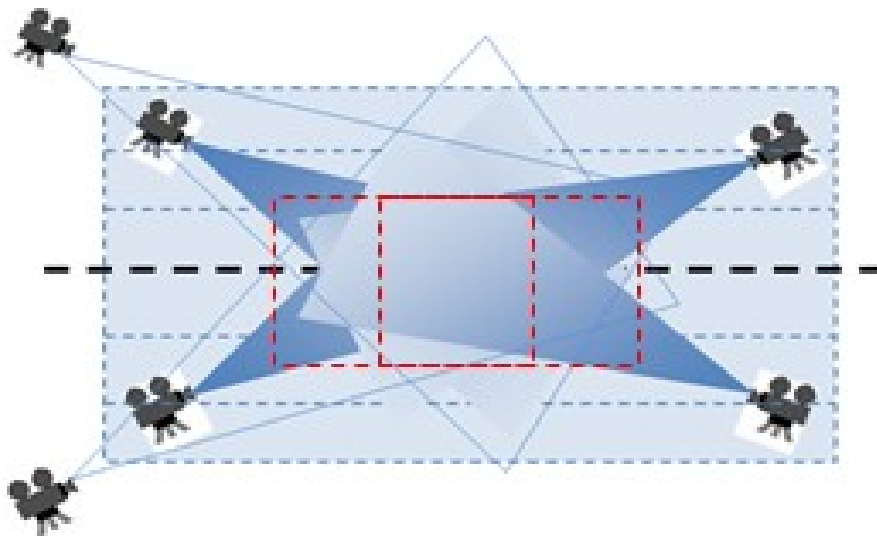


Figura 2 – Ilustração do posicionamento das câmeras e estrutura de calibração na piscina.

As imagens das seis câmeras foram registradas independentemente e os nadadores monitorados ao passar através do espaço anteriormente calibrado, utilizando um calibrador com 6.0 m de comprimento, 2.0 m de largura e 2.5 m de altura (de Jesus et al., 2014; Figura 3). A sincronização das imagens foi realizada utilizando um par de LEDs, visíveis por todas as câmeras, fixado ao volume de calibração sob e sobre a superfície da água. Para análise cinemática foram capturados vídeos de dois ciclos do nado crol (aos 100 m e 175 m) de cada patamar do protocolo incremental. Posteriormente, os vídeos foram tratados através do software Ariel Performance Analysis System (APAS - Ariel

Procedimentos estatísticos

A estatística descritiva foi utilizada para calcular as médias e respectivos desvios-padrão. Posteriormente, os dados foram analisados utilizando magnitude baseada em inferência (Cumming, 2013; Hopkins et al., 2009). Diferenças de médias estandardizadas e respectivos intervalos de confiança 95% foram utilizados para avaliar possíveis diferenças de DC, FG e VIV entre patamares e distâncias (100 m e 175 m). Para calcular a magnitude do efeito foi utilizada a seguinte escala: 0 – 0.2 trivial, > 0.2 - 0,6 pequeno, > 0.6 – 1.2 moderada, > 1.2 – 2.0 grande e > 2.0 muito grande (Hopkins et al., 2009), tendo sido considerados valores de tamanhos do efeito acima de pequenos (positivos ou negativos) (Hopkins et al., 2009). Todas as análises foram realizadas utilizando o *software Exploratory Software for Confidence Intervals* (Cumming, 2013).

Resultados

A Tabela 2 apresenta as médias e respectivos desvios padrão dos parâmetros cinemáticos DC, FG e VIV nas distâncias de 100 m e 175 m em cada patamar do protocolo incremental.

Tabela 2 – Médias e respectivos desvios padrão dos parâmetros cinemáticos (distância de ciclo e frequência gestual) e da variação intracíclica da velocidade nas distâncias de 100 m e 175 m de cada patamar do protocolo 6 X 200 m crawl (30 s intervalo).

Patamares	Distância de ciclo (m)	Frequência Gestual (Hz)	Variação intracíclica da velocidade	Distância de ciclo (m)	Frequência Gestual (Hz)	Variação intracíclica da velocidade
	100 m			175 m		
1º	1.75 ± 0.27	0.47 ± 0.11	0.27 ± 0.14	2.00 ± 0.25	0.47 ± 0.06	0.27 ± 0.24
2º	1.68 ± 0.28	0.51 ± 0.09	0.24 ± 0.18	1.84 ± 0.25	0.51 ± 0.08	0.27 ± 0.24
3º	1.62 ± 0.33	0.54 ± 0.10	0.26 ± 0.17	1.76 ± 0.23	0.54 ± 0.10	0.22 ± 0.16
4º	1.60 ± 0.34	0.58 ± 0.08	0.27 ± 0.22	1.78 ± 0.24	0.60 ± 0.05	0.26 ± 0.28
5º	1.56 ± 0.35	0.61 ± 0.09	0.27 ± 0.22	1.66 ± 0.32	0.63 ± 0.04	0.21 ± 0.20
6º	1.48 ± 0.36	0.65 ± 0.10	0.24 ± 0.16	1.57 ± 0.29	0.72 ± 0.06	0.22 ± 0.17

A Tabela 3 apresenta as diferenças de médias estandardizadas, intervalos de confiança e tamanho do efeito das comparações entre patamares do protocolo incremental (nas distâncias de 100 e 175 m) para os parâmetros cinemáticos DC, FG e VIV. Foram observados valores substancialmente mais elevados de FG no sexto quando comparado com o segundo patamar (tamanho do efeito grande) aos 100 m. Adicionalmente, os resultados mostraram valores substancialmente mais elevados (tamanho do efeito grande) no sexto patamar quando comparado com os outros patamares (primeiro ao quinto); no quinto patamar quando comparado ao primeiro, segundo e quarto patamares e no quarto patamar quando comparado com o primeiro aos 175 m.

Tabela 3 – Diferenças de médias standardizadas, intervalos de confiança e tamanho do efeito das comparações entre os patamares do protocolo incremental aos 100 m e 175 m para distância de ciclo, frequência gestual e variação intracíclica da velocidade.

Patamares	Distância de ciclo	Frequência Gestual	Variação intracíclica da velocidade	Distância de ciclo	Frequência Gestual	Variação intracíclica da velocidade
100 m				175 m		
1º x 2º	-0.22 [-1.35; 0.90] Pequeno	0.33 [-0.70; 1.36] Pequeno	-0.16 [-1.39; 1.08] Trivial	-0.49 [-1.58; 0.61] Pequeno	0,50 [-0,74; 1,73] Pequeno	0.01 [-1,09; 1,11] Trivial
1º x 3º	-0.39 [-1.62; 0.85] Pequeno	0.54 [-0.52; 1.61] Pequeno	-0.09 [-1.31; 1.13] Trivial	-0.72 [-1.77; 0.34] Moderado	0,86 [-0,60; 2,31] Moderado	-0,16 [-1,11; 0,80] Trivial
1º x 4º	-0.44 [-1.69; 0,81] Pequeno	0.83 [-0.15; 1.82] Moderado	-0.04 [-1.46; 1.39] Trivial	-0.68 [-1.77; 0.40] Moderado	1,57 [0,59; 2,55] Grande	-0,01 [-1,21; 1,19] Trivial
1º x 5º	-0.56 [-1.83; 0.70] Pequeno	1.08 [0.06; 2.09] Moderado	-0.42 [-1.36; 0.51] Pequeno	-1.03 [-2.29; 0.24] Moderado	1.97 [1.04; 2.90] Grande	-0.17 [-1.19; 0.84] Trivial
1º x 6º	-0.80 [-2.10; 0.50] Moderado	1.35 [0.27; 2.44] Grande	-0.16 [-1.32; 1.00] Trivial	-1.32 [-2.52; -0.12] Grande	2.94 [1.86; 4.03] Muito grande	-0.14 [-1.11; 0.82] Trivial
2º x 3º	-0.16 [-1.36; 1.04] Trivial	0.25 [-0.89; 1.39] Pequeno	0.06 [-1.03; 1.15] Trivial	-0.23 [-1.29; 0.83] Pequeno	0.29 [-0.96; 1.54] Pequeno	-0.17 [-1.12; 0.79] Trivial
2º x 4º	-0.21 [-1.42; 1,01] Pequeno	0.58 [-0.46; 1.63] Pequeno	0.10 [-1.12; 1.32] Trivial	-0.20 [-1.29; 0.90] Trivial	0.87 [- 0.06; 1.81] Moderado	-0.02 [-1.22; 1.18] Trivial
2º x 5º	-0.33 [-1.56; 0.91] Pequeno	0.86 [-0.21; 1.94] Moderado	0.10 [-1.12; 1.32] Trivial	-0.55 [-1.82; 0.73] Pequeno	1.19 [0.29; 2.10] Grande	-0.19 [-1.20; 0.83] Trivial
2º x 6º	-0.55 [-1.82; 0.71] Pequeno	1.18 [0.01; 2.36] Grande	0.00 [-1.05; 1.05] Trivial	-0.85 [-2.05; 0.36] Moderado	1.99 [0.99; 2.98] Grande	-0.15 [-1.12; 0.81] Trivial
3º x 4º	- 0.04 [-1.15; 1.07] Trivial	0.31 [-0.71; 1.33] Pequeno	0.04 [-1.20; 1.28] Trivial	0.04 [-1.10; 1.17] Trivial	0.46 [-0.45; 1.37] Pequeno	0.22 [-1.42; 1.85] Pequeno
3º x 5º	- 0.14 [-1.27; 0.98] Trivial	0.57 [-0.47; 1.62] Pequeno	0.04 [-1.20; 1.28] Trivial	-0.34 [-1.68; 1.01] Pequeno	0.72 [-0.18; 1.62] Moderado	-0.02 [-1.26; 1.21] Trivial
3º x 6º	-0.33 [-1.49; 0.82] Pequeno	0.87 [-0.26; 2.00] Moderado	-0.06 [-1.12; 1.00] Trivial	-0.66 [-1.92; 0.60] Moderado	1.35 [0.41; 2.29] Grande	0.02 [-1.13; 1.18] Trivial
4º x 5º	-0.10 [-0.21; 1.01] Trivial	0.31 [-0.82; 1.44] Pequeno	0.00 [-1.08; 1.08] Trivial	-0.35 [-1.64; 0.94] Pequeno	0.52 [-0.47; 1.50] Pequeno	-0.14 [-1.09; 0.81] Trivial
4º x 6º	-0.29 [-1.42; 0.85] Pequeno	0.66 [-0.58; 1.90] Moderado	-0.08 [-1.05; 0.89] Trivial	-0.66 [-1.88; 0.56] Moderado	1.78 [0.52; 3.04] Grande	-0,11 [-1,05; 0,82] Trivial
5º x 6º	-0.18 [-1.31; 0.94] Trivial	0.33 [-0.87; 1.54] Pequeno	-0.08 [-1.05; 0.89] Trivial	-0.23 [-1.28; 0.82] Pequeno	1.61 [0.10; 3.11] Grande	0,04 [-1,00; 1,08] Trivial

A Figura 4 (a, b e c) apresenta as diferenças de médias estandardizadas, intervalos de confiança e tamanho do efeito das comparações entre os 100 e 175 m em cada patamar do protocolo incremental para os parâmetros cinemáticos DC, FG e VIV (respectivamente), evidenciando diferenças triviais.

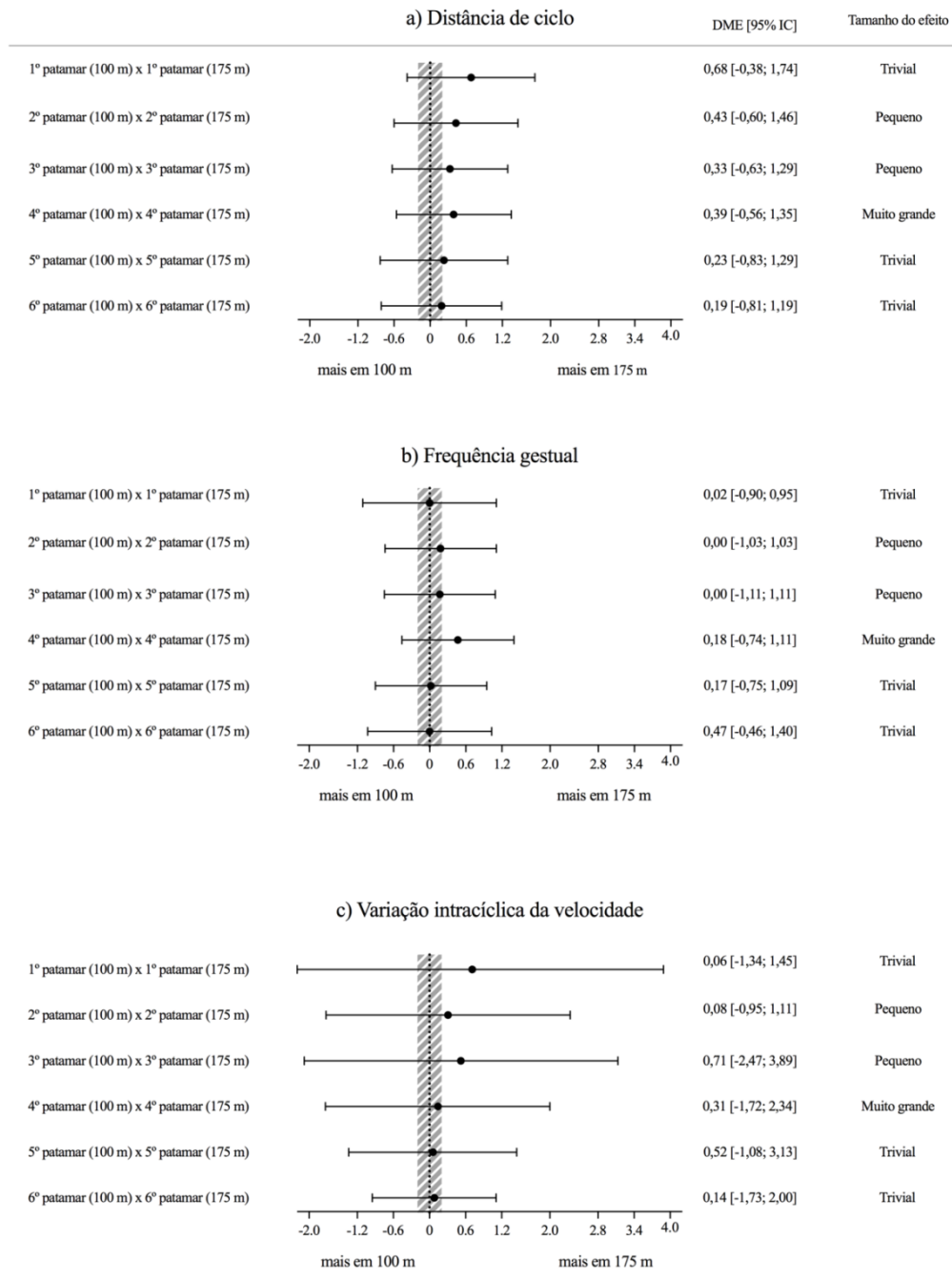


Figura 4 – Diferenças de médias estandardizadas, intervalos de confiança e tamanho do efeito das comparações entre as distâncias de 100 e 175 m em cada patamar do protocolo incremental para distância de ciclo, frequência gestual e variação intracíclica da velocidade.

Discussão

O objetivo deste estudo foi caracterizar os parâmetros biomecânicos gerais na técnica do nado crol, relacionando-os com a v nas distâncias de 100 e 175 m a intensidades de nado baixas a elevadas em um grupo de nadadores com deficiência motora pertencentes às classes funcionais entre S6 e S9. Complementarmente, avaliou-se dentro de cada ciclo de nado a VIV. Os principais achados do presente estudo indicam que os nadadores modificam seus parâmetros biomecânicos gerais (DC e FG) quando do aumento da velocidade e também entre as distâncias de 100 e 175 m de cada patamar de 200 m. Por outro lado, verificou-se uma tendência para a estabilização da VIV com o aumento da velocidade ao longo dos patamares, sugerindo que para se adaptar às exigências relativas ao incremento da velocidade, os nadadores alteram sua técnica de nado, o que está de acordo com os estudos descritos na literatura.

No presente estudo, com o aumento da v em cada patamar, os valores da DC diminuem e os de FG aumentam para as distâncias de 100 e 175 m corroborando com os estudos de Keskinen & Komi (1993); Osborough et al. (2009); Seifert et al. (2004). A diminuição da DC pode estar ligada ao desenvolvimento da fadiga muscular local como sugerido por Keskinen & Komi (1993). A assimetria também pode comprometer a técnica do nadador (Dingley et al., 2014). No atual estudo verificou-se que os achados parecem vir a complementar que para atingirem velocidades mais elevadas, nadadores com amputação de membro inferior precisam aumentar o esforço para a manutenção do alinhamento corporal na água, e nadadores com amputação de membro superior, necessitam compensar a falta do segmento propulsivo (Prins & Murata, 2008) e para isso, utilizam a FG para aumentar a v (Osborough et al., 2009).

Neste estudo também se observou que os valores da DC quando comparados dentro de cada patamar são superiores para a distância de 175 m comparativamente aos 100 m em todos os patamares, enquanto os valores da FG permanecem constantes do primeiro até o terceiro patamar, aumentando do quarto ao sexto patamar para a distância de 175 m comparativamente aos 100 m. Esse aumento pode ser explicado pela dependência que os nadadores com

deficiência motora têm da FG para conseguir maior v na natação (Figueiredo et al., 2013; Satkunskiene et al., 2005) e também, ao aumento da fadiga ao longo do tempo (Dingley et al., 2014).

Foram observados valores substancialmente mais elevados no sexto quando comparado com o segundo patamar para a FG aos 100 m. Na distância de 175 m, os resultados da FG mostraram valores substancialmente mais elevados no sexto patamar quando comparado com os outros patamares (primeiro ao quinto), no quinto patamar quando comparado ao primeiro, segundo e quarto, e no quarto patamar quando comparado com o primeiro, sugerindo que durante v mais exaustivas, nadadores com deficiência motora, igualmente como reportado para nadadores de bom nível (Alberty et al., 2008; Chatard et al., 1990; Craig & Pendergast, 1979), limitam a diminuição da v aumentando a FG compensando a diminuição da DC.

A VIV é um critério importante e amplamente aceito para o estudo biomecânico na natação (Barbosa et al., 2006) sendo o melhor indicador da habilidade técnica do nadador (Vilas-Boas et al., 2010). Neste estudo os valores encontrados para a VIV são superiores a aqueles encontrados na literatura da Nadpt, nomeadamente para nadadores com Síndrome de Down (0.17) (Marques-Aleixo et al., 2013). Os achados indicam que os valores da VIV não mudaram significativamente ao longo dos seis patamares para a distância de 100 m ($0.24 \geq 0.27$). Houve uma tendência a estabilização a partir do segundo até o sexto patamar, o que sugere que os nadadores foram capazes de adaptar sua técnica de nado para minimizar a VIV. Esses valores estão de acordo com os encontrados por Seifert et al. (2010). Para a distância de 175 m observou-se uma diminuição da VIV com o aumento da velocidade, o que pode estar relacionado com a diminuição do tempo entre as ações propulsivas devido ao aumento da fadiga (Alberty et al., 2008; Ribeiro et al., 2013; Soares et al., 2010). A fadiga provoca um decréscimo na v, FG e DC (Craig & Pendergast, 1979; Keskinen & Komi, 1993; Marinho et al., 2006).

Para a manutenção da v foi observado um aumento progressivo nos valores da FG com uma concomitante diminuição da DC, ao longo do protocolo incremental. Essas adaptações corroboram com os achados de Alberty et al. (2008), Craig et al. (1985), Dekerle et al. (2005), (Fernandes et al., 2010) e Wakayoshi et al.

(1996), sendo atribuídas ao desenvolvimento da fadiga. Em estado de fadiga os nadadores gradualmente serão incapazes de produzir ações propulsivas necessárias para superar uma resistência na progressão do movimento (Alberty et al., 2008) o que justifica a diminuição da VIV. Os valores da VIV encontrados nesse estudo se aproximam aos achados por (Payton & Wilcox, 2006) que igualmente a nós, analisaram apenas as ações propulsivas dos membros superiores.

Mesmo reconhecendo as limitações desse estudo que se relacionam com o tamanho da amostra e o número de classes funcionais (S6, S7, S8 e S9) utilizadas, considerada pequena, o que limita fazer uma generalização dos resultados para a população de nadadores com deficiência motora, os resultados apresentados podem trazer inputs importantes para a análise biomecânica da técnica de crawl para esse grupo de nadadores. Estudos futuros com amostras maiores, variabilidade de deficiências e abrangência maior de classes funcionais, são necessários para melhor definir os fatores que contribuem para o desempenho desportivo de nadadores com deficiência motora na Nadpt.

Conclusão

Com o presente estudo foi possível concluir que a FG está diretamente relacionada ao aumento da v e a magnitude da VIV, e que esta, influencia directamente o rendimento desportivo dos nadadores. Para conseguirem elevar sua velocidade de nado e obterem melhores resultados desportivos, nadadores com deficiência motora, igualmente aos nadadores sem deficiência, devem estabilizar a VIV. Treinadores e nadadores devem criar estratégias e ações em seus programas de treino que visem a manutenção do alinhamento corporal na água, o aumento da FG e a estabilização da VIV, se quiserem obter bons resultados desportivo na Nadpt.

Agradecimentos

Esta investigação foi financiada pelo programa de bolsas de doutorado pleno no exterior (CAPES-MEC, Brasil) processo (11926/13-9).

Referências Bibliográficas

- Alberty, M., Potdevin, F., Dekerle, J., Pelayo, P., Gorge, P., & Sidney, M. (2008). Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1191-1200.
- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., & Nelson, R. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 189-199.
- Barbosa, T., Fernandes, R., Keskinen, K., Colaço, P., Cardoso, C., Silva, J., & Vilas- Boas, J. P. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Training & Testing*.
- Barbosa, T., Fernandes, R., Morouco, P., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: A pilot study. *Journal of Sport Science and Medicine*, 7, 201-209.
- Chatard, C., Collomp, C., Maglischo, E., & Maglischo, C. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), 156-161.
- Chollet, D., Pelayo, P., & Tourney, C. (1996). Comparative analysis of 100m and 200m events in the four strokes in top level swimmers. *Journal of Human Movement Studies* 31, 25–37.
- Craig, A., & Pendergast, D. (1979). Relationship of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports* 11(3), 278-283.
- Craig, A., Skehan, P., J., P., & Boomer, W. (1985). Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports Exercise* 17, 625-634.

- Cumming, G. (2013). The new statistics: Estimation for better research. Retrieved from www.thenewstatistics.com.
- Daly, D., Malone, L., Vanlandewijck, Y., & Steadward, R. (1998). Analysis of the mean's 100m freestyle at the 1996 Atlanta Paralympic Games. *Biomchanics and Medicine in Swimming*.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2014). Which ate the best VO2 sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1030-1036.
- de Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Marchand, F. H., & Pelayo, P. (2005). Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 53-58.
- Dingley, A. A., Pyne, D., & Burkett, B. (2014). Dry-land bilateral hand-force production and swimming performance in paralympic swimmers. *Int J Sports Med*, 35(11), 949-953.
- Fernandes, R., Cardoso, C., Soares, S., Ascensão, A., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2003). Time Limit and VO2 Slow Component at Intensities corresponding to VO2max in Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 576-581.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *Int J Sports Med*, 32(12), 940-946.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in swimmers aged 10-11 years. *European Journal of Sport Science*, 10(5), 311-317.
- Figueiredo, P., Toussaint, H. M., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Relation between efficiency and energy cost with coordination in aquatic locomotion. *Eur J Appl Physiol*, 113(3), 651-659.

- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sport Exer*, 41(1), 3-12.
- Kennedy, P., Brown, P., Chengalur, S., & Nelson, R. (1990). Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6(2), 187–197.
- Keskinen, K., & Komi, P. V. (1993). Stroke characteristics of front crawl swimming during exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 219-226.
- Kornecki, S., & Bober, T. (1978). Extreme velocities of a swimming cycle as a technique criterion. In B. Eriksson & B. Furberg (Eds.), *Swimming medicine IV* (pp. 402–407). Baltimore: University Park Press.
- Laat, E., Jurimae, J., Maestu, J., Purge, P., Ramson, R., Haljaste, K., Keskinen, K., Rodriguez, F., & Jurimae, J. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 398-404.
- Marinho, D., Vilas-Boas, J. P., Keskinen, K., Rodriguez, F., Soares, S., Carmo, C., Vilar, S., & Fernandes, R. J. (2006). The behaviour of kinematic parameters during a time to exhaustion test at VO₂max in elite swimmers. *Journal of human Movement Studies*, 51(51), 1.
- Marques-Aleixo, I., Querido, A., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Corredeira, R. (2013). Intracyclic velocity variation and arm coordination assessment in swimmers with down syndrome. *Adpted Physical Activity Quarterly*, 30(70-84).
- Nigg, B. (1983). Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. In A. Hollander, P. Huijing & G. Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 72-80): Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Osborough, C., Payton, C., & Daly, D. (2009). Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers, with selected anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 304-312.

- Payton, C., & Wilcox, C. (2006). Intracyclic speed fluctuations of uni-lateral arm amputee front crawl swimmers. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(1), 53-54.
- Pelayo, P., Sidney, M., Moretto, P., Wille, F., & Chollet, D. (1999). Stroking parameters in top level swimmers with a disability. *Physical Fitness and Performance*, 31(12), 1839-1843.
- Prins, J., & Murata, N. (2008). Stroke Mechanics of Swimmers with Permanent Physical *Palaestra*, 24(1), 19-25.
- Ribeiro, J., K., D. J., Figueiredo, P., Toussaint, H., Guidetti, L., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Biomechanical determinants of force production in front crawl swimming. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 53, 30-37.
- Satkunskiene, D., Schega, L., Kunze, K., Birzinyte, K., & Daly, D. (2005). Coordination in arm movements during crawl stroke in elite swimmers with a loco-motor disability. *Hum Mov Sci*, 24(1), 54-65.
- Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B. G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl. A dynamic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 22(7), 651-660.
- Seifert, L., Toussaint, H. M., Alberty, M., Schnitzler, C., & Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Hum Mov Sci*, 29(3), 426-439.
- Soares, S., Aleixo, I., Machado, L., Fernandes, R. J., Maia, J., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Evaluation of force production and fatigue using an anaerobic test performed by differently matured swimmers In P. L. Kjendlie, R. Stallman & J. Cabri (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 291-293). Oslo, Norway Norwegian School of Sport Sciences
- Toussaint, H., & Beek, P. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8-24.
- Toussaint, H., Carol, A., Kranenborg, H., & Truijens, M. (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in arm-only 100-m front-crawl race. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(9), 1635-1642.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Barbosa, T. (2010). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. In

- L. Seifert, D. Chollet & I. Mujika (Eds.), *World book of swimming: from science to performance*: Nova Science Publishers.
- Wakayoshi, K., D'Acquisto, J., Cappaert, J. M., & Troup, J. P. (1996). Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. In J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. M. Cappaert & T. A. Trappe (Eds.), *Biomechanics and medicine in swimming VII* (pp. 152-158). London: Chapman & Hall.
- Zatsiorsky, V. M., Seluyanov, V. N., & Chugunova, L. G. (1990). Methods of determining mass-inercial characteristics of human body segments. In G. Chemy & S. Regirer (Eds.), *Contemporary Problems of Biomechanics* (pp. 272-291). Massachussets: CRC Press.

Capítulo 4. Estudo Empírico 3

Determinantes biofísicos do nado crol em nadadores com deficiência motora

Valdir Junior ^{1,2,3}, Alexandre Medeiros³, João P. Vilas-Boas^{1,2}, Rui Corredeira⁴, Daniel J. Daly⁵, Ricardo J. Fernandes ^{1,2}

¹ Centro de Pesquisa, Educação, Inovação e Intervenção em Desporto. Faculdade de Desporto. Universidade do Porto, Porto, Portugal

² Laboratório de Biomecânica do Porto. Universidade do Porto, Porto, Portugal

³ Grupo de Pesquisa em Biodinâmica do Movimento Humano. Instituto de Educação Física e Esportes, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

⁴ Centro de Investigação em Atividade Física, Saúde e Lazer. Faculdade de Desporto. Universidade do Porto.

⁵ Universidade Católica de Leuven, Bélgica

Resumo

O objetivo deste estudo foi comparar os fatores bioenergéticos e biomecânicos gerais em dois indicadores por excelência dos domínios de intensidade baixa a moderada e severa em nadadores com deficiência motora: o limiar anaeróbio e o consumo máximo de oxigénio, respectivamente. Hipotetizou-se que a partir do LAn o comportamento das variáveis fisiológicas e biomecânicas alteram-se significativamente e, como tal, existem diferenças evidentes nestas variáveis entre os domínios baixo a moderado e severo. Oito nadadores com deficiência motora realizaram um protocolo incremental intermitente de 6 x 200 m crol, com 30 s de intervalo e incrementos de 0.05 m.s^{-1} entre cada repetição de 200 m. Os dados relativos ao VO_2 foram registrados usando um analisador portátil de gases telemétrico (K4b², Cosmed, Roma, Itália). Amostras de sangue capilar do lóbulo auricular foram colhidas para análise das $[\text{La}^-]$. As variáveis cinemáticas foram avaliadas pela análise da gravação de vídeos a partir de câmeras (Sony® HDR CX160E, Tóquio, Japão) de visão frontal e subaquáticas. Os resultados mostraram que os valores referentes aos dados metabólicos e ventilatórios aumentaram com a intensidade do nado exigindo valores inferiores de La^- , VO_2 , FC, VE, CO_2 e R no domínio moderado, comparativamente aos observados no domínio severo. Para os parâmetros biomecânicos gerais da velocidade de nado, FG e DC, observou-se uma relação inversa entre essas variáveis. A VIV apresentou valores superiores na intensidade de nado moderada comparativamente a intensidade severa. As conclusões deste estudo mostraram que as respostas fisiológicas e biomecânicas são diferentes nas intensidades de nado moderada e severa. Os estudos também evidenciaram haver uma interação entre as mudanças dos parâmetros fisiológicos e biomecânicos na transição do limiar aeróbio de nadadores com deficiência motora.

Palavras-chave: DEFICIÊNCIA MOTORA, PARÂMETROS FISIOLÓGICOS, PARÂMETROS BIOMECÂNICOS, NADADORES.

Abstract

The objective of this study was to compare general bioenergetic and biomechanical factors in two indicators par excellence of the low to moderate and severe intensity domains in swimmers with motor disability: the anaerobic threshold and the maximum oxygen consumption respectively. It was hypothesized that from LAn the behavior of the physiological and biomechanical variables change significantly and, as such, there are evident differences in these variables between the low to moderate and severe domains. Eight motor disabled swimmers performed an intermittent incremental protocol of 6 x 200 m crol, with 30 s of interval and increments of 0.05 m.s⁻¹ between each repetition of 200 m. Data on VO₂ were recorded using a portable telemetry analyzer (K4b2, Cosmed, Rome, Italy). Capillary blood samples from the atrial lobe were collected for [La-] analysis. The kinematic variables were evaluated by the analysis of video recording from frontal and underwater cameras (Sony® HDR CX160E, Tokyo, Japan). The results showed that values related to metabolic and ventilatory data increased at the moment swimming intensity required lower values of La-, VO₂, FC, VE, CO₂ and R in the moderate domain compared to those observed in the severe domain. For the general biomechanical parameters of swimming velocity, FG and DC, an inverse relationship between these variables was observed. The VIV presented higher values in the moderate swimming intensity compared to the severe intensity. The conclusions of this study showed that the physiological and biomechanical responses are different in moderate and severe swimming intensities. The studies also evidenced an interaction between the physiological and biomechanical changes in the transition of the aerobic threshold of swimmers with motor disability.

Key words: MOTOR DISABILITY, PHYSIOLOGICAL PARAMETERS, BIOMECHANICAL PARAMETERS, SWIMMERS.

Introdução

Na natação competitiva, o desempenho desportivo está diretamente relacionado com a capacidade do nadador em gerar propulsão suficiente para superar as forças de resistência hidrodinâmica (Toussaint & Beek, 1992), percorrendo uma distância pré-determinada no menor tempo possível. Na técnica do nado crawl as forças propulsivas são geradas pelas ações combinatórias e coordenadas dos movimentos dos membros superiores e inferiores do nadador, sendo dependentes de sua técnica (Chollet et al., 2000; Seifert et al., 2004).

Tradicionalmente a investigação científica no campo da natação pura desportiva tem incidido em duas áreas principais: bioenergética, com métodos que envolvem o estudo dos componentes fisiológicos necessários ao deslocamento no meio aquático (Pendergast et al., 2003) e biomecânica, com métodos que se interessam pela compreensão dos determinantes mecânicos do movimento (Zamparo et al., 2006). De facto, a combinação dos aspectos bioenergéticos, nomeadamente as variáveis fisiológicas, consumo de oxigénio (VO_2), as concentrações de lactato sanguíneo (La^-) e frequência cardíaca (FC), e cinemáticas frequência gestual (FG) e a distância de ciclo (DC), aliados à velocidade (v) e a variação intracíclica da velocidade (VIV), desempenham um papel decisivo na locomoção na natação pura desportiva e são de fundamental importância para o desempenho e a obtenção de bons resultados esportivos (Fernandes & Vilas-Boas, 2006).

Relativamente à natação paralímpica é sabido que a classificação funcional divide os nadadores em um conjunto de classes competitivas. Diversos fatores sustentam essa classificação, nomeadamente força muscular, coordenação de movimentos, faixas de movimentos comuns e comprimento do membro afetado. Essas limitações físicas impõem diferentes capacidades propulsoras, seja pela ausência de um ou mais segmentos corporais, como pela falta de movimento de uma ou mais superfícies propulsoras, o que pode resultar em desvantagens no equilíbrio corporal na água (Schega et al., 2006), aumento do custo energético e no trabalho mecânico necessários ao deslocamento na água (Prins & Murata, 2008).

Apesar de encontrarmos na literatura vários estudos que caracterizam os fatores fisiológicos influenciadores do rendimento dos nadadores sem deficiência (e.g. Fernandes et al., 2010; Martin & Whyte, 2000; Toubekis et al., 2006), pesquisas que analisam os parâmetros fisiológicos envolvendo nadadores com deficiência motora ainda são escassas. Garatachea et al. (2006) estudaram a relação entre a velocidade crítica e a resistência em nadadores com deficiência motora, tendo observado que a velocidade crítica aproximou-se de 4 mmol.l^{-1} , corroborando com os valores sugeridos por Mader et al. (1978), para determinar, avaliar e controlar o limiar anaeróbio (LAn) de nadadores. Por outro lado, a literatura relativa aos estudos que analisam os parâmetros biomecânicos com nadadores com deficiência motora é bem mais ampla (e.g. Daly et al., 1998; Lecrivain et al., 2010; Osborough et al., 2009); (Satkunskiene et al., 2005; Schega et al., 2006). A medição das concentrações de lactato obtidas durante um protocolo incremental é comumente utilizada para determinar o LAn e avaliar o nível de treinamento de atletas (Faude et al., 2009), nadadores de diferentes faixas etárias (Fernandes et al., 2008; Fernandes et al., 2010; Toubekis et al., 2006) e triatletas (Martin & Whyte, 2000). Alguns estudos na área da natação pura desportiva sugerem que o LAn não representa somente uma transição fisiológica, mas também biomecânica (Dekerle et al., 2005; Keskinen & Komi, 1993). Figueiredo, Toussaint, et al. (2013) observaram que o LAn pode influenciar o comportamento quer de variáveis fisiológicas quer biomecânicas na natação.

O objetivo deste estudo foi comparar os fatores bioenergéticos e biomecânicos gerais em dois indicadores por excelência dos domínios de intensidade baixa a moderada e severa em nadadores com deficiência motora: o limiar anaeróbio e o consumo máximo de oxigénio, respectivamente. Hipotetizou-se que a partir do LAn o comportamento das variáveis fisiológicas e biomecânicas alteram-se significativamente e, como tal, existem diferenças evidentes nestas variáveis entre os domínios baixo a moderado e severo.

Métodos

Participaram neste estudo oito nadadores masculinos com deficiência motora (25.83 ± 2.93 anos de idade, 72.45 ± 9.26 kg de massa corporal e 1.79 ± 0.11 m de altura) filiados na Federação Portuguesa de Natação, sendo representadas de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional, três classes funcionais: S6 ($n = 1$), S8 ($n = 2$) e S9 ($n = 5$). O nadador da classe S6 era lesionado medular com comprometimento total dos membros inferiores. Um dos nadadores da classe S8 apresentou amputação transumeral esquerdo e o outro nadador apresentou má formação nas extremidades de mãos e pés. Na classe S9 os três nadadores apresentaram desarticulação de uma das mãos, um nadador apresentou amputação transfemoral direita e o outro atrofia fibular muscular. Todos os nadadores da amostra competiam há mais de cinco anos realizando semanalmente uma carga horária de treino \geq a 20h. Os nadadores foram previamente informados acerca do protocolo experimental, tendo dado o seu consentimento por escrito para participar (no caso dos menores de idade o mesmo foi solicitado ao encarregado de educação). Todos os sujeitos estavam familiarizados com os procedimentos experimentais da testagem.

As sessões experimentais decorreram numa piscina de 25 m coberta e aquecida (27°C), com profundidade de 1.90 m e humidade relativa de 85%. Depois dos nadadores serem pesados (utilizando uma balança de bioimpedância InBody R20; Biospace Co, Ltd., Seoul, Korea) e medidos (com uma fita métrica convencional) realizaram um protocolo incremental intermitente de 6 x 200 m crol, com 30 s de intervalo e incrementos de 0.05 m.s^{-1} entre cada repetição de 200 m adaptado de Fernandes et al. (2003) e Figueiredo et al. (2013). A velocidade do último patamar foi estabelecida de acordo com o melhor tempo do momento de cada nadador aos 400 m crawl, sendo que a velocidade dos patamares anteriores foi calculada subtraindo-se 0.05 m.s^{-1} à velocidade dos 200 m finais (Fernandes et al., 2003). Durante o protocolo foi utilizado um sistema de luzes intermitentes colocado no fundo da piscina e distantes entre si 1.5 m (Pacer2Swim, KulzerTec, Aveiro, Portugal) auxiliando os nadadores a manterem o ritmo de nado pré-definido.

Os dados ventilatórios foram registrados respiração-a-respiração direta e continuamente através de um analisador portátil de gases telemétrico (K4b², Cosmed, Roma, Itália) conectado a um snorkel respiratório (AquaTrainer Snorkel®, Cosmed, Roma, Itália) e a FC foi medida por telemetria (Polar Vantage NV, Polar Eletro Oy, Kempele, Finlândia, ligado ao K4b²). Para reduzir o ruído dos dados ventilatórios foram considerados apenas os valores de VO_2 situados entre a média ± 4 DP sendo, posteriormente, suavizados usando uma média móvel de três respirações em períodos de 5 s (Fernandes & Vilas-Boas, 2012). Depois destes procedimentos, considerou-se a média correspondente ao último min de exercício como sendo o valor máximo obtido em cada patamar do protocolo incremental.

O $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi considerado atingido de acordo com critérios fisiológicos primários e secundários, nomeadamente a ocorrência de um *plateau* no VO_2 independentemente do aumento da velocidade de nado ($\leq 2.1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), elevados valores de $[\text{La}^-]$ ($\geq 8 \text{ mmol.l}^{-1}$), elevado quociente respiratório ($R \geq 1$), elevada FC (superior a 90% dos valores teóricos máximos [220 - idade]) e exaustão visualmente perceptível (Howley et al., 1995). A intensidade de nado correspondente à velocidade mínima de nado a que foi atingido o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$) foi aceite como sendo a correspondente ao patamar em que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi alcançado (Fernandes & Vilas-Boas, 2012).

Amostras de sangue capilar do lóbulo auricular foram colhidas para análise das $[\text{La}^-]$ em vários momentos, nomeadamente em repouso, nos intervalos entre patamares e aos 3, 5 e 7 min após o teste. As amostras foram analisadas através de um doseador de lactato portátil Lactate Pro 1 (Arkay, inc., Kyoto, Japão), sendo então possível calcular o LAn individual através do método de modelação da curva das $[\text{La}^-]$ vs. velocidade, correspondendo ao ponto de interseção da combinação de duas regressões, uma linear e uma exponencial (cf. Machado et al., 2006).

Todos os sujeitos foram marcados com tinta e/ou fita preta em 18 pontos anatômicos (lado direito e esquerdo do corpo): acrómio, epicôndilo umeral lateral, processo estilóide da ulna, trocânter femoral (superfície externa), epicôndilo femoral lateral, maléolo lateral, falange distal e hallux, enquanto o vértice da cabeça foi marcado com uma fita preta na touca de natação. Os

marcadores refletores foram utilizados para melhorar a visualização da imagem, posterior digitalização e reconstrução em três dimensões (3D). Para a reconstrução 3D foram utilizados os percentuais de massa e posições dos segmentos corporais (Zatsiorsky et al., 1990).

Para recolha de imagens foram utilizadas seis câmeras vídeo (Sony® HDR CX160E, Tóquio, Japão), operando numa frequência de 50 Hz, com uma velocidade de obturador eletrônico de 1/250. Quatro câmeras subaquáticas protegidas por caixas à prova de água (Sony® SPK-CXB waterproof box, Tokyo, Japan) foram mantidas a 0.95 m abaixo da superfície da água e posicionadas a 5.00 e 0.60 m de distância das paredes frontais e laterais, enquanto duas câmeras aéreas foram mantidas em um suporte a uma altura de 2.50 m e posicionadas a 2.10 e 1.10 m frontal e lateral da piscina (Figueiredo et al., 2011). As imagens das seis câmeras foram registradas independentemente e os nadadores monitorados ao passar através do espaço anteriormente calibrado, utilizando um calibrador com 6.0 m de comprimento, 2.0 m de largura e 2.5 m de altura (de Jesus, et al., 2015). A sincronização das imagens foi realizada utilizando um par de LEDs, visíveis por todas as câmeras, fixado ao volume de calibração sob e sobre a superfície da água. Para análise cinemática foram capturados vídeos de dois ciclos do nado crawl (aos 175 m) de cada patamar do protocolo incremental. Posteriormente, os vídeos foram tratados através do software *Ariel Performance Analysis System* (APAS - Ariel Dynamics, San Diego, USA) utilizando uma frequência de 50 Hz. A reconstrução 3D da ação dos membros superiores foi feita através do procedimento *Direct Linear Transformation*.

Para verificar a existência de um ponto de inflexão das variáveis $[La^-]$, VO_2 , FC, FG e DC versus a velocidade, os dados foram plotados e as curvas foram modeladas (Figura 1) de acordo com o modelo matemático proposto por Machado et al. (2006). Esses autores consideraram um conjunto de N pontos de dados distintos (x_i, y_i) que poderiam ser ajustados por uma linha reta ou função exponencial e encontraram os coeficientes desconhecidos da curva de ajuste (usando o método de mínimos quadrados). Eles propuseram que em baixas velocidades, haveria uma relação linear e, depois disso, acima da velocidade correspondentes ao ponto de inflexão, o incremento das $[La^-]$ seria exponencial.

Esse método mostrou-se válido e consistente para ser usado em diferentes populações de nadadores jovens (Fernandes et al., 2010), de bom nível (Fernandes et al., 2003) e de elite (Fernandes et al., 2008).

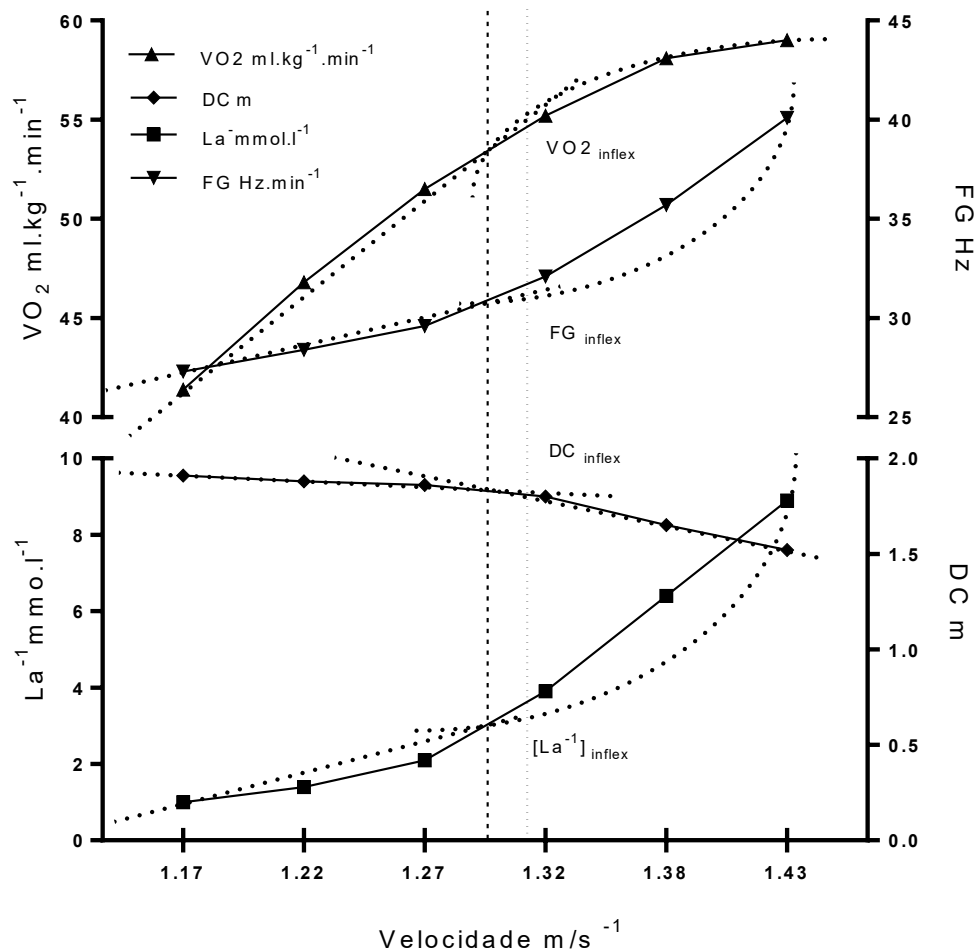


Figura 1 – Exemplo da determinação dos pontos de inflexão das concentrações de lactato ($[La^-]_{inflex}$), consumo de oxigênio ($VO_{2inflex}$), frequência gestual (FG_{inflex}) e distância de ciclo (DC_{inflex}) durante o protocolo incremental.

Inicialmente, foi utilizada a estatística descritiva (médias e desvios padrão). A comparação entre os domínios de intensidade baixo a moderado e severo para os determinantes de desempenho no nado crol (v , La^- , VO_2 , FC , ventilação pulmonar, produção de dióxido de carbono, coeficiente respiratório, FG , DC e variação intracíclica da velocidade) foi obtida utilizando as diferenças de médias standardizadas. Adicionalmente, o tamanho do efeito foi utilizado seguindo a

seguinte escala: 0–0.2 (*trivial*), >0.2 (*small*), >0.6 (*moderate*), >1.2 (*large*), and >2.0 *very large* (Cohen, 1988). A possibilidade de encontrarmos diferenças entre as variáveis analisadas foram avaliadas qualitativamente pela escala a seguir: <1%, *almost certainly not*; 1-5%, *very unlikely*; 5-25%, *unlikely*; 25-75%, *possible*; 75-95%, *likely*; 95-99%, *very likely*; >99%, *almost certain*. Quando os resultados de ambas as categorias (*better* e *poorer*) foram >5%, a possibilidade real de haver diferenças foi classificada como *unclear* (Hopkins et al., 2009). Posteriormente, uma análise de concordância entre os métodos foi realizada para calcular os eventuais pontos de inflexão a partir das mensurações dos valores da $[La^-]$, VO_2 , FC, DC e FG. Avaliou-se ainda as médias e o nível de concordância (95% de concordância) de acordo com o teste de Bland-Altman (Bland & Altman, 1986).

Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores médios e respectivos desvios padrão da velocidade e das variáveis fisiológicas e cinemáticas estudadas às intensidades baixa a moderada e severa do nado crawl.

Tabela 1 – Valores médios e respectivos desvios padrão das variáveis fisiológicas e cinemáticas estudadas às intensidades baixa a moderada e severa.

Variáveis	Intensidade baixa a moderada	Intensidade severa
Velocidade (m.s ⁻¹)	1.04±0.17	1.15±0.18
Concentração de lactato sanguíneo (mmol.l ⁻¹)	2.52±1.13	6.08±1.57
Consumo de oxigênio (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	38.19±7.25	47.81±8.04
Frequência cardíaca (bpm)	166.66±15.77	181.32±13.36
Ventilação pulmonar (l.min)	61.39±7.41	86.77±15.59
Produção de dióxido de carbono (l.min)	2192.79±378.92	2758.61±476.04
Coeficiente respiratório	0.91±0.09	1.11±0.20
Frequência gestual (Hz)	0.59±0.07	0.69±0.10
Distância de ciclo (m)	1.74±0.34	1.62±0.29
Variação intracíclica da velocidade	0.28±0.35	0.15±0.07

A Figura 2 apresenta as diferenças de médias standardizadas, intervalos de confiança (90%), tamanho do efeito e probabilidades das comparações entre o limiar anaeróbio e o VO₂ máximo para a velocidade, variáveis fisiológicas e cinemáticas estudadas. Os resultados apresentaram valores substancialmente mais elevados (tamanho do efeito *moderate-very large*) para o lactato sanguíneo, consumo de oxigênio, frequência cardíaca, ventilação pulmonar, produção de dióxido de carbono, coeficiente respiratório e frequência gestual na intensidade severa quando comparado com o domínio baixo a moderado.

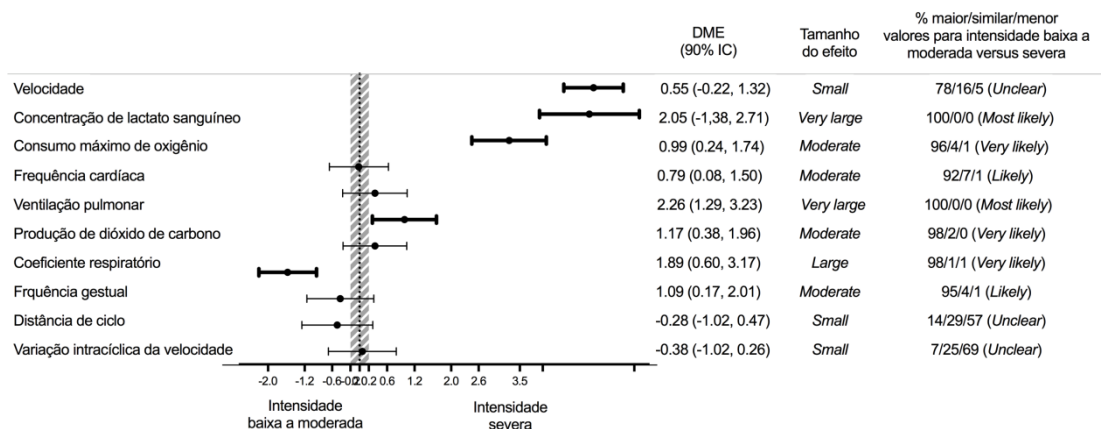


Figura 2 – Diferenças de médias standardizadas (DME), 90% intervalo de confiança (IC), tamanho do efeito e probabilidades das comparações entre as intensidades baixa a moderada e severa para a velocidade, concentração de lactato sanguíneo, consumo de oxigênio, frequência cardíaca, ventilação pulmonar (VE), produção de dióxido de carbono (VCO₂), coeficiente respiratório (R), frequência gestual, distância de ciclo, variação intracíclica da velocidade no nado crol.

A Figura 3 apresenta as médias (linhas centrais pontilhadas), plotadas através do Bland-Altman, e concordância de 95% (linhas tracejadas) entre a velocidade ao [La]⁻_{index} e a velocidade ao VO₂_{index} ($-37.4 \pm 9.3 \text{ ms}^{-1}$; 95% IC -55.6,-19.1), DC_{Index} ($-0.6 \pm 0.3 \text{ ms}^{-1}$; 95% IC -1.2,0.1) e FG_{Index} ($-0.4 \pm 0.2 \text{ ms}^{-1}$; 95% IC 0.0,0.8). Como a FC apresentou um crescimento linear com a velocidade de nado, não sendo observado um ponto de inflexão não se realizou esse procedimento para essa variável.

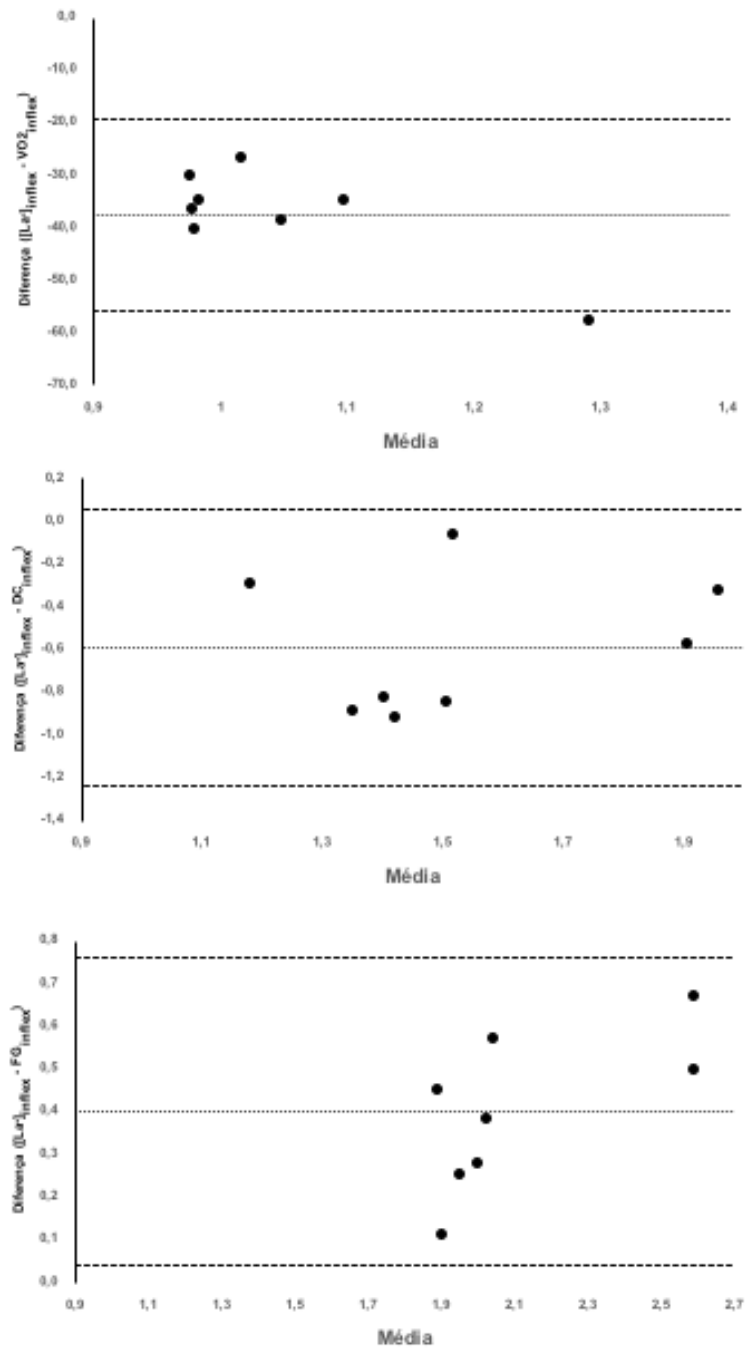


Figura 3 – Representação das médias (linhas centrais pontilhadas), plotadas através do Bland-Altman, e concordância de 95% (linhas tracejadas) entre a velocidade ao $[La]_{index}$ e a velocidade ao VO_{2index} , DC_{index} e FG_{index} .

Discussão

O desempenho competitivo de nadadores paralímpicos tem sido alvo de diversos pesquisadores que estudaram as variáveis biomecânicas (e.g. Burkett et al., 2010; Daly et al., 2003; Daly et al., 1998; Dingley et al., 2014; Lecrivain et al., 2010; Osborough et al., 2009; Pelayo et al., 1999; Satkunskiene et al., 2005) e fisiológicos (e.g. Bentley et al., 2005; De Aymerich et al., 2010; Garatachea et al., 2006; Pelayo et al., 1996). Entretanto, estudos que abordam conjuntamente as duas ainda são raros. Neste estudo realizou-se uma comparação biofísica, i.e., fisiológica mais biomecânica do nado crol em diferentes intensidades em nadadores com deficiência motora.

As velocidades correspondentes ao $VO_{2\text{máx}}$ e ao LAn estão abaixo daquelas reportados na literatura para nadadores sem deficiência (Sousa et al., 2014) o que se pode justificar pelas limitações físicas (ausência de um ou mais segmentos corporais) que impõem menores capacidades propulsoras, desvantagens no equilíbrio corporal na água (Schega et al., 2006), maior esforço para manutenção do padrão respiratório e o alinhamento corporal e, conseqüentemente, maior dificuldade para sustentar a velocidade de nado (Dingley et al., 2014; Pendergast et al., 2005; Prins & Murata, 2008; Zamparo et al., 2009).

Observou-se que os valores referentes aos dados metabólicos e ventilatórios aumentaram com a intensidade do nado, exigindo valores inferiores de La^- , VO_2 , FC, VE, CO_2 e R no domínio baixo a moderado comparativamente aos observados no domínio severo. Isto pode indicar que o protocolo progressivo 6 x 200 m nado crol foi usado adequadamente em nadadores com deficiência motora, a imagem do protocolo *standart* 7 x 200 m com intervalos de 30 s e incrementos constantes de 0.05 m/s amplamente descrito na literatura. Este protocolo permite acessar um amplo intervalo de intensidades de nado, dos domínios baixo a moderado passando pela pesado até o severo (de Jesus et al., 2015)

A medição das $[La^-]$ é um procedimento comum usado na natação para avaliar o nível de treinamento dos nadadores. A intensidade de exercício para uma concentração de 4 mmol.l⁻¹, proposto por Mader et al. (1978), tem sido usada

para avaliar o LAn de diversos praticantes de desportos individuais e cíclicos. Neste estudo os valores das $[La^-]$ correspondentes ao LAn são semelhantes aos valores encontrados por Fernandes et al. (2011); (Figueiredo et al., 2013); Pyne et al. (2001). Entretanto, os valores das $[La^-]$ ao $VO_{2máx}$ revelados neste estudo, são inferiores aos encontrados por de Jesus et al. (2014); Fernandes et al. (2011), Figueiredo et al. (2013) e Reis et al. (2012). Como sublinhado por Burgomaster et al. (2008) as $[La^-]$ podem variar conforme o treinamento ao qual os nadadores estão submetidos. De facto, os resultados das $[La^-]$ ao $VO_{2máx}$ encontrados no presente estudo, podem estar relacionados com o facto de que os nadadores da atual amostra serem melhor treinados em intensidades baixas ou moderadas, ou seja, até o LAn.

Estes factos podem serem explicados por um conjunto de fatores. Primeiramente, pela perda de força, associada a atrofia muscular, perda de massa óssea e muscular, tipo de lesão e nível de amputação (comprimento residual do membro) que leva os nadadores com deficiência motora a ter dificuldade em manter e sustentar o esforço sobretudo em intensidades de nado elevadas. Complementarmente, considerando que na natação adaptada cada nadador apresenta deficiências que variam no grau de severidade e consequentemente na capacidade funcional, e sabendo que o acúmulo da $[La^-]$ depende da musculatura envolvida no exercício (Ohkuma & Itoh, 1992), pode-se suspeitar que a morfologia dos nadadores das classes inferiores (mais comprometidas funcionalmente) pode comprometer a ativação neuromuscular, comparativamente às classes superiores (De Aymerich et al., 2010). Para além disso, nadadores das classes superiores, por apresentarem melhores condições clínicas e consequente menor comprometimento físico, respondem melhor às adaptações do treinamento (Medeiros et al., 2016).

No presente estudo, a medida que a intensidade de nado aumentava acima do LAn os valores da VE, VCO_2 e R aumentavam linearmente corroborando com Harvey (2011), não demonstrando mudança significativa a partir do LAn (como observado para o $[La^-]$ e VO_2). De facto, na intensidade severa quando há um acúmulo significativo de lactato no sangue, uma quantidade adicional de CO_2 é liberada, estimulando os quimiorreceptores periféricos e a condução ventilatória resultando no aumento da VE, VCO_2 e R (Bhambhani, 2002). Adicionalmente,

verificou-se que a FC acompanhou linearmente o aumento dos parâmetros metabólicos e ventilatórios até atingir o LAn.

Completamente, observou-se uma relação inversa entre a FG e a DC de acordo com a literatura (e.g. Ribeiro et al., 2013; Seifert et al., 2010). Entretanto, esses valores estão abaixo aos reportados na literatura para nadadores sem deficiência (Keskinen & Komi, 1993; Ribeiro et al., 2013). Para obter velocidades mais elevadas os nadadores com deficiência motora se utilizam da FG para melhorar a performance de nado compensando a ausência ou debilidade de segmentos propulsivos (Osborough et al., 2009; Prins & Murata, 2008), à semelhança dos nadadores sem deficiência (Alberty et al., 2008; Ribeiro et al., 2013).

Contrariamente, foram observados valores inferiores da DC no domínio severo, comparativamente aos encontrados no domínio baixo a moderado, estando abaixo dos valores reportados na literatura para nadadores sem deficiência. De facto, no domínio severo onde a contribuição anaeróbia é elevada, a capacidade do nadador de produzir força para superar a resistência é diminuída (Alberty et al., 2008; Dingley et al., 2014). Também é de salientar, que em nadadores com deficiência motora a diminuição da área propulsiva, as assimetrias corporais (causadas pela ausência total ou parcial de membros) (Prins & Murata, 2008), obrigam os nadadores a aumentar o esforço para manutenção do equilíbrio horizontal e o alinhamento corporal pelo que a fadiga acumulada poderá levar a uma deterioração da técnica.

Adicionalmente, a avaliação da (VIV) tem sido utilizada para compreender os fatores limitantes do desempenho na natação (de Jesus, Sanders, et al., 2015; Figueiredo et al., 2012; Vilas-Boas et al., 2010). Neste estudo, observaram-se valores superiores da VIV para a intensidade baixo a moderada de nado comparativamente à intensidade severa. Nossos resultados, na intensidade moderada de nado mostraram valores da VIV superiores aos reportados na literatura para nadadores recreativos (Schnitzler et al., 2010). Entretanto, os valores relativos a intensidade severa de nado, estão de acordo com a literatura para nadadores recreativos (Schnitzler et al., 2010). De facto, na intensidade severa há um declínio dos valores da VIV o que pode estar relacionado com o aumento da velocidade que leva à fadiga, (Alberty et al., 2008; Ribeiro et al.,

2013). Complementarmente, para minimizar o custo energético em altas velocidade de nado, nadadores com deficiência motora, assim como nadadores sem deficiência, precisam manter os valores da VIV baixos como sugerido por Vilas-Boas et al. (2010) .

Não obstante a relevância dos dados obtidos no presente estudo para as variáveis fisiológicas e cinemáticas nas intensidades baixa a moderada e severa, sob um ponto de vista biofísico também foi possível identificar pontos de inflexão durante a transição do limiar anaeróbio para a maioria das variáveis estudadas. Assim, observou-se que, com o aumento da velocidade, os pontos de inflexão para FG, DC e VO_2 coincidem com o ponto de inflexão referente ao $[La^-]$, mostrando haver uma interação entre as variáveis como demonstrado por Figueiredo et al. (2013) para nadadores de bom nível sem deficiência. Também se torna relevante salientar que a medida que a intensidade de nado aumenta o custo energético sobe, provavelmente pelo resultado do aumento das $[La^-]$ e VO_2 acompanhado pelas mudanças no comportamento da FG e DC.

Desta forma, como sugerido anteriormente para nadadores sem deficiência (Dekerle et al., 2005; Figueiredo, Moraes, et al., 2013) evidenciou-se que o LAn, além de ser usado como um limiar fisiológico, pode ser um limite biomecânico. Verificou-se com o aumento da velocidade um ponto de referência para as variáveis $[La^-]$, VO_2 , FG e DC, interpretado como um limiar entre os domínios de intensidade baixa a moderada e severa. Os resultados do presente estudo sugerem que as variáveis fisiológicas e cinemáticas estão interrelacionadas, e que as fontes de contribuição energética parecem influenciar as flutuações biomecânicas, como proposto por Barbosa et al. (2010).

Conclusões

Os resultados do presente estudo indicam haver uma interrelação entre os variáveis fisiológicas e biomecânicas estudados e que estes são relevantes e influenciam diretamente no desempenho de nadadores com deficiência motora no nado crol. Os dados obtidos no espectro das intensidades de nado estudadas podem ser úteis e contribuir para técnicos, nadadores e pesquisadores do esporte que atuam na área da natação adaptada, nomeadamente a um nível

elevado como é o caso da natação paralímpica. O comportamento diverso dessas variáveis nas intensidades baixa a moderada e severa, poderá contribuir para uma avaliação e o controlo do treino mais objetivos, visando a melhoria da performance esportiva. Protocolos avaliativos de natureza biofísica devem ser realizados frequentemente para que os nadadores com deficiência motora possam ascender a níveis superiores de desempenho.

Referências bibliográficas

- Alberty, M., Potdevin, F., Dekerle, J., Pelayo, P., Gorge, P., & Sidney, M. (2008). Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1191-1200.
- Barbosa, T., Silva, A., Reis, A., Costa, M. J., Garrido, N., Policarpo, F., & Reis, V. (2010). Kinematical changes in swimming front crawl and breaststroke with the AquaTrainer® snorkel. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 1155-1162.
- Bentley, D. J., Roels, B., Hellard, P., Fauquet, C., Libicz, S., & Millet, G. P. (2005). Physiological responses during submaximal interval swimming training: effects of interval duration. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(4), 392-402.
- Bhambhani, Y. (2002). Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Medicine*, 32(1), 23-51.
- Bland, J., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 8(8476), 307-310.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *Journal of Physiology*, 586(1), 151-160.
- Burkett, B., Mellifont, R., & Mason, B. (2010). The influence of swimming start components for selected Olympic and paralympic swimmers. *Journal of Applied Biomechanics*, 2, 134-141.

- Chollet , D., Chabies, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *Training and Testing*, 21, 54-59.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum: Hillsdale.
- Daly, D., Djobova, S. K., Malone, L. A., Vanlandewijck, Y., & Stealdward, R. D. (2003). Swimming Speed Patterns and Stroking Variables in the Paralympic 100-m Freestyle. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 20, 260-280.
- Daly, D., Malone, L., Vanlandewijck, Y., & Steadward, R. (1998). Analysis of the mean's 100m freestyle at the 1996 Atlanta Paralympic Games. *Biomchanics and Medicine in Swimming*.
- De Aymerich, J., Benavent, J., Tella, V., Colado, J. C., González, L., Garcia-Massó, X., & Madera, J. (2010). *Analysis of aerobic/anaerobic performance in functionally disabled swimming: Low classes vs high classes*. Comunicação apresentada em XIth International Symposium for Biomechanics.
- de Jesus, K., de Jesus, K., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Machado, L. (2015). Reconstruction accuracy assessment of surface and underwater 3D motion analysis: a new 3 approach. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*;2015:269264.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2014). Which ate the best VO2 sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1030-1036.
- de Jesus, K., Sanders, R., De Jesus, K., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, J. R. (2015). The Effect of Intensity on Three-Dimensional Kinematics and Coordination in Front Crawl Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 768-775.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Marchand, F. H., & Pelayo, P. (2005). Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 53-58.

- Dingley, A. A., Pyne, D., & Burkett, B. (2014). Dry-land bilateral hand-force production and swimming performance in paralympic swimmers. *Int J Sports Med*, 35(11), 949-953.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts. *Sports Med*, 39(6), 469-490.
- Fernandes, R., Cardoso, C., Soares, S., Ascensão, A., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2003). Time limit and VO₂ slow component at intensities corresponding to VO₂max in swimmers *International Journal of Sports Medicine*, 24, 576-581.
- Fernandes, R., Keskinen, K., Colaço, P., Querido, A., Machado, L., & Morais, P. (2008). Time limit at VO₂ velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Tempo limite à intensidade mínima correspondente ao consumo máximo de oxigênio: novos desenvolvimentos num parâmetro de recente investigação em natação. *Motricidade*, 2(4), 214-220.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *Int J Sports Med*, 32(12), 940-946.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in swimmers aged 10-11 years. *European Journal of Sport Science*, 10(5), 311-317.
- Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Time to exhaustion at the VO₂max velocity in swimming: a review. *J Hum Kinet*, 32, 121-134.
- Figueiredo, P., Barbosa, T., Vilas-Boas, J., P., & Fernandes, J. R. (2012). Energy cost and body centre of mass' 3D intracycle velocity variation in swimming *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3319-3326.
- Figueiredo, P., Morais, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2013). Changes in arm coordination and stroke parameters on transition through the lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 1957-1964.

- Figueiredo, P., Toussaint, H., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Relation between efficiency and energy cost with coordination in aquatic locomotion. *European Journal of Applied Physiology*, 113(3), 651-659.
- Figueiredo, P., Zamparo, P., Sousa, A., & Vilas-Boas, J. P. (2011). An energy balance of the 200 m front crawl race. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 767-777.
- Garatachea, N., Abadía, O., García-ísla, F., González-Gallego, J., & Paz, J. (2006). Determination and validity of critical swimming velocity in elite physically disabled swimmers. *Disability and Rehabilitation*, 28(24), 1551-1556.
- Harvey, J. (2011). A review: Analyzing how VO₂ kinetics limit exercise performance. *Journal of Exercise Physiology*, 14(3), 68-73.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-12.
- Howley, E., Bassett, D., & Welch, H. (1995). Criteria for maximal oxygen consumption uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1292-1301.
- Keskinen, K., & Komi, P. V. (1993). Stroke characteristics of front crawl swimming during exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 219-226.
- Lecrivain, G., Payton, C., Slaouti, A., & Kennedy, I. (2010). Effect of body roll amplitude and arm rotation speed on propulsion of arm amputee swimmers. *J Biomech*, 43(6), 1111-1117.
- Machado, L., Almeida, M., Morais, P., Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Assessing the individual anaerobic threshold: the mathematical model. *Portuguese Journal of Sports Science*, 6, 142-144.
- Mader, A., Heck, H., & Hollman, W. (1978). Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of post exercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. In F. Landry & W. Orban (Eds.), *Exercise Physiology* (pp. 187-200). Miami: Symposia Specialists

- Martin, L., & Whyte, G. (2000). Comparison of critical swimming velocity and velocity lactate threshold in elite triathletes. . *International Journal of Sports Medicine*, 21, 366 -368.
- Medeiros, R., Alves, E., Lemos, A., Schwingel, P., Silva, A., Vital, R., Vieira, A., Barreto, M., Rocha, E., Tufik, S., & Mello, M. (2016). Assessment of body composition and sport performance of Brazilian Paralympic swim team athletes. *Journal of Sports Rehabilitation* 25, 364-370.
- Ohkuma, T., & Itoh, H. (1992). Blood lactate, glycerol and catecholamine in arms strokes, leg kicks and whole crawl strokes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32, 32-38.
- Osborough, C., Payton, C., & Daly, D. (2009). Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers, with selected anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 304-312.
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., & Tourny, C. (1996). Stroking characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 197-206.
- Pelayo, P., Sidney, M., Moretto, P., Wille, F., & Chollet, D. (1999). Stroking parameters in top level swimmers with a disability. *Physical Fitness and Performance*, 31(12), 1839-1843.
- Pendergast, D., Mollendorf, J., Zamparo, P., Termin, A., & Paschke, B. (2005). The influence of drag on human locomotion in water. *Undersea and Hyperbaric Medical Society*, 32(1).
- Pendergast, D. R., Zamparo, P., Di Prampero, P. E., Capelli, C., Cerretelli, P., & Termin, A. (2003). Energy balance of human locomotion in water. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 377-386.
- Prins, J., & Murata, N. (2008). Stroke Mechanics of Swimmers with Permanent Physical *Palaestra*, 24(1), 19-25.
- Pyne, D., Lee, H., & Swanwick, K. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 291-297.

- Reis, J., Alves, F., Bruno, P., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1689-1697.
- Ribeiro, J., K., D. J., Figueiredo, P., Toussaint, H., Guidetti, L., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Biomechanical determinants of force production in front crawl swimming. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 53, 30-37.
- Satkunskiene, D., Schega, L., Kunze, K., Birzinyte, K., & Daly, D. (2005). Coordination in arm movements during crawl stroke in elite swimmers with a loco-motor disability. *Hum Mov Sci*, 24(1), 54-65.
- Schega, L., Kunze, K., & Daly, D. (2006). *Simulation of Functional restrictions in swimmers with disabilities*. Comunicação apresentada em First International Symposium Sciences And Practices In Swimming, France.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M., & Chollet, D. (2010). Hip velocity and arm coordination in front crawl swimming. *International Journal Sports Medicine*, 31(12), 875-881.
- Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B. G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl. A dynamic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 22(7), 651-660.
- Seifert, L., Toussaint, H. M., Alberty, M., Schnitzler, C., & Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Hum Mov Sci*, 29(3), 426-439.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2014). Critical evaluation of oxygen uptake assessment in swimming. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 9(2), 190-202.
- Toubekis, A., Tsami, A., & Tokmakidis, S. (2006). Critical velocity and lactate threshold in young swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 117-123.
- Toussaint, H., & Beek, P. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8-24.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Barbosa, T. (2010). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. In

- L. Seifert, D. Chollet & I. Mujika (Eds.), *World book of swimming: from science to performance*: Nova Science Publishers.
- Zamparo, P., Gatta, G., Pendergast, D., & Capelli, C. (2009). Active and passive drag: the role of trunk incline. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 195-205.
- Zamparo, P., Pendergast, D. R., Termin, A., & Minetti, A. E. (2006). Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. *European Journal of Applied Physiology*, 96(4), 459-470.
- Zatsiorsky, V. M., Seluyanov, V. N., & Chugunova, L. G. (1990). Methods of determining mass-inercial characteristics of human body segments. In G. Chemy & S. Regirer (Eds.), *Contemporary Problems of Biomechanics* (pp. 272-291). Massachussets: CRC Press.

Capítulo 5. Discussão Geral

Discussão Geral

A necessidade deste estudo emerge da carência de pesquisas na área da natação adaptada. Para os nadadores com deficiência motora o conhecimento científico pode ajudar a compreender como as diferentes deficiências limitam a actividade e o desempenho esportivo, trazendo informações importantes para o aprimoramento do desempenho competitivo na natação. Assim, considerando que os estudos da presente tese focaram-se na identificação, análise e caracterização dos determinantes de desempenho na natação, nomeadamente na técnica do nado crawl, os nossos objectivos foram: caracterizar fisiologicamente os nadadores com deficiência motora realizando a técnica do nado crol nas intensidades baixa-moderada e severa; caracterizar os parâmetros biomecânicos gerais na técnica do nado crawl, de nadadores com deficiência motora relacionando-os com a v nas distâncias de 100 e 175 m e, posteriormente, analisar conjuntamente os parâmetros fisiológicos e biomecânicos no domínios das intensidades de nado baixa a moderada e severa.

A presente amostra foi composta por nadadores com deficiências motoras distintas, classificados de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional, nas seguintes classes funcionais: S6, S7, S8, S9 e S10. Para a análise dos parâmetros fisiológicos foi utilizado um protocolo intermitente incremental de 6 x 200 adaptado de Fernandes et al. (2008) que permitiu analisar as concentrações de lactato sanguíneo e o consumo de oxigénio. Para a avaliação dos parâmetros biomecânicos foram utilizados os parâmetros cinemáticos (v, FG, DC e VIV). Os principais achados desses estudos mostraram que nadadores com deficiência motora apresentam um perfil semelhantes aos nadadores sem deficiência, para as [La], VO₂, FC, v, FG, DC e VIV em intensidades de nado baixa a moderada e severa. No entanto, os valores apresentados estão abaixo dos reportados na literatura (Figueiredo, Toussaint, et al., 2013)

Relativamente aos principais parâmetros fisiológicos estudados, foi possível verificar valores mais elevados quando do aumento da intensidade do nado ao longo do protocolo incremental, exigindo valores superiores no domínio severo comparativamente ao domínio baixo a moderado, para todas as classes

funcionais. Porém, verificou-se que nadadores das classes superiores, isto é, como menor comprometimento funcional, apresentaram velocidades de nado mais altas (quer ao LAn quer ao $VO_{2\text{máx}}$). De facto, as limitações físicas impõem desvantagens na capacidade propulsora, no equilíbrio horizontal na água, no padrão respiratório, no alinhamento corporal e consequente velocidade de nado (Dingley et al., 2014; Pendergast et al., 2005; Schega et al., 2006).

A medição das $[La^-]$ foi usada para avaliar a capacidade aeróbia dos nadadores o que permitiu verificar valores para as $[La^-]$ correspondentes ao LAn semelhantes ($\sim 2.5 \text{ mmol}^{-1}$) aos valores encontrados na literatura para nadadores sem deficiência com idade entre 10 e 11 anos (2.3 ± 0.59) (Fernandes et al., 2010) e 13 anos ($3.16 \pm 1.20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) (Toubekis et al., 2006). No presente estudo os nadadores da amostra são das classes funcionais (S6-S9), o que evidencia uma elevada variabilidade funcional entre os sujeitos. Levando-se em consideração que o acúmulo das $[La^-]$ depende da musculatura envolvida no exercício (Ohkuma & Itoh, 1992), é de supor que nadadores com deficiência motora que apresentam ausência de um ou mais segmentos corporais tenham um nível de activação neuromuscular reduzida. Como consequência, os nadadores podem desenvolver menor velocidade e menor $[La^-]$, estas últimas variando também conforme o treinamento (Burgomaster et al., 2008).

Quando relacionamos as respostas fisiológicas com o aumento da velocidade de nado, observou-se que as $[La^-]$ e o VO_2 atingiram valores mais elevados no domínio severo de exercício comparativamente ao nado na intensidade baixa a moderada. Como já referido, os valores das $[La^-]$ ao LAn foram semelhantes ao reportados na literatura para nadadores sem deficiência (Fernandes et al., 2011; Pyne et al., 2001), contudo, os valores de $[La^-]$ ao $VO_{2\text{máx}}$ ($\sim 6.0 \text{ mmol}^{-1}$) são inferiores aos encontrados para nadadores sem deficiência (e.g. de Jesus et al., 2014; Figueiredo, Morais, et al., 2013; Reis et al., 2012; Sousa et al., 2014). Esses achados evidenciam que as dificuldades de manutenção e sustentação do esforço em uma zona aeróbia máxima – potência aeróbia - apresentada pelos nadadores com deficiência motora podem está relacionadas à sua morfologia e ao tipo de treinamento a que estes nadadores estão submetidos. Isto explica o facto da velocidade ao $VO_{2\text{máx}}$ ter sido menor nos nossos nadadores

comparativamente aos valores descritos na literatura para os nadadores sem deficiência (Figueiredo, Toussaint, et al., 2013).

Observou-se que a medida que a velocidade de nado aumentava, os valores da VE, CO₂, e R também aumentavam linearmente, evidenciando que o protocolo incremental intervalado usado neste estudo mostrou-se adequado à compreensão dos parâmetros metabólicos e ventilatórios estudados nesta população. De facto, como sublinhado por Bhambhani (2002) na intensidade acima do LAn, a produção de ácido láctico aumenta, coincidindo com a liberação de CO₂. Essa reação provoca os quimiorreceptores periféricos à estimular a condução ventilatória resultando no aumento da VE, VCO₂ e R. De igual forma, a FC aumentou de forma linear ao aumento da intensidade de nado corroborando com a literatura (Fernandes & Vilas-Boas, 2012). Adicionalmente, é de sublinhar que os os valores de VE, VCO₂, R e FC encontrados para os nadadores desse estudo, estão abaixo dos reportados na literatura para nadadores sem deficiência (Aspenes et al., 2009).

A velocidade na natação é o produto da DC e FG e foram anteriormente estudadas (e.g. Barbosa et al., 2008; Dekerle et al., 2005; Dingley et al., 2014; Komar et al., 2012; Osborough et al., 2009; Satkunskiene et al., 2005) em nadadores sem e com deficiência que observaram uma relação inversa entre essas variáveis cinemáticas com o aumento da velocidade. Os nadadores com deficiência motora do presente estudo, alcançaram um aumento progressivo da v, aumentando a FG, coincidindo com uma diminuição na DC, corroborando com Craig & Pendergast (1979); Ribeiro et al. (2013) e Seifert et al. (2010) para nadadores sem deficiência e Osborough et al. (2009) para nadadores com deficiência. Os valores máximos da v, FG e DC alcançados pelos nadadores deste estudo, foram inferiores aos valores (1.64 ± 0.09 m.s⁻¹; 0.94 ± 0.08 Hz; 1.64 ± 0.17 m) reportados na literatura para nadadores com amputação unilateral de braço (Osborough et al., 2009; Pelayo et al., 1999). Observou-se que os nadadores da presente amostra mantiveram v e FG menores em esforços abaixo e ao LAn, comparativamente aos esforços correspondentes ao VO₂máx. De facto, como sublinhado por Osborough et al. (2009), nadadores com deficiência motora se utilizam da FG para aumentarem a v, compensando de alguma forma a falta do segmento propulsivo.

Contrariamente, como esperado, os valores da DC diminuíram com o aumento da intensidade do nado, atingindo valores inferiores na intensidade de nado correspondente ao $VO_{2\text{máx}}$, comparativamente aos valores encontrados ao LAn. Esses achados, foram consideravelmente menores aos reportados na literatura (Osborough et al., 2009; Satkunskiene et al., 2005) para nadadores com deficiência motora. De facto, na intensidade severa de nado onde a demanda energética vem da contribuição aeróbia e anaeróbia, a capacidade do nadador de produzir forças para superar a resistência, fica limitada. Para além disso, as assimetrias corporais modificam o equilíbrio horizontal e o alinhamento corporal exigindo desses nadadores maiores esforços, e consequente aumento do gasto energético para a manutenção do equilíbrio na água (Prins & Murata, 2008).

Para Vilas-Boas et al. (2010) a VIV é o melhor indicador para avaliar a habilidade técnica do nadador. No presente estudo, os valores da VIV para a intensidade severa de nado (~ 0.15) estão abaixo aos reportados na literatura da Nadpt para nadadores com Síndrome de Down (0.17) (Marques-Aleixo et al., 2013) e nadadores com deficiência motora da classe S9 (0.35) (Payton & Wilcox, 2006). Os achados do presente estudo, indicam haver uma tendência a estabilização da VIV ao longo do protocolo incremental o que sugere que os nadadores foram capazes de adaptar a técnica de nado para minimizar a VIV. De facto, durante o protocolo incremental, com o aumento da intensidade de nado há uma diminuição do tempo entre as acções propulsivas devido a instalação da fadiga (Ribeiro et al., 2013; Soares et al., 2010).

Estudos prévios tem demonstrado que o objectivo do treinamento na natação é conseguir adaptações do condicionamento físico (variáveis fisiológicas) e aprimoramento técnico (variáveis biomecânicas), isto é, biofísicas, para cumprir as exigências impostas por diferentes intensidades de nado. Também foi objectivo do presente estudo, entender sob um ponto de vista biofísico como as variáveis fisiológicas e cinemáticas interrelacionam-se ao longo de um largo espectro de intensidades de nado. Para tal, realizou-se uma análise combinando a determinação e caracterização das variáveis fisiológicas e cinemáticas em dois indicadores fundamentais para o treinamento em natação: o LAn e o $VO_{2\text{máx}}$.

Neste estudo, foram identificados pontos de inflexões entre as variáveis fisiológicas estudadas durante a transição a partir do LAn. Os pontos de inflexão

das variáveis VO₂, FG, DC, coincidem com a ponto de referência do [La⁻] , mostrando haver uma interação das variáveis estudadas e o aumento da velocidade.

Referências bibliográficas

- Aspenes, S. T., Kjendlie, P., Hoff, J., & Helgerud, J. (2009). Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 357-365.
- Barbosa, T., Fernandes, R., Morouco, P., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: A pilot study. *Journal of Sport Science and Medicine*, 7, 201-209.
- Bhambhani, Y. (2002). Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Medicine*, 32(1), 23-51.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *Journal of Physiology*, 586(1), 151-160.
- Craig, A., & Pendergast, D. (1979). Relationship of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports* 11(3), 278-283.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2014). Which ate the best VO₂ sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1030-1036.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Marchand, F. H., & Pelayo, P. (2005). Stoking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 53-58.
- Dingley, A. A., Pyne, D., & Burkett, B. (2014). Dry-land bilateral hand-force production and swimming performance in paralympic swimmers. *Int J Sports Med*, 35(11), 949-953.

- Fernandes, R., Keskinen, K., Colaço, P., Querido, A., Machado, L., & Morais, P. (2008). Time limit at VO₂ velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *Int J Sports Med*, 32(12), 940-946.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in swimmers aged 10-11 years. *European Journal of Sport Science*, 10(5), 311-317.
- Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Time to exhaustion at the VO₂max velocity in swimming: a review. *J Hum Kinet*, 32, 121-134.
- Figueiredo, P., Morais, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2013). Changes in arm coordination and stroke parameters on transition through the lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 1957-1964.
- Figueiredo, P., Toussaint, H., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Relation between efficiency and energy cost with coordination in aquatic locomotion. *European Journal of Applied Physiology*, 113(3), 651-659.
- Komar, J., Lepretre, P. M., Alberty, M., Vantorre, J., Fernandes, R. J., Hellard, P., Chollet, D., & Seifert, L. (2012). Effect of increasing energy cost on arm coordination in elite sprint swimmers. *Human Movement Science*, 31(3), 620-629.
- Marques-Aleixo, I., Querido, A., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Corredeira, R. (2013). Intracyclic velocity variation and arm coordination assessment in swimmers with down syndrome. *Adpted Physical Activity Quarterly*, 30(70-84).
- Ohkuma, T., & Itoh, H. (1992). Blood lactate, glycerol and catecholamine in arms strokes, leg kicks and whole crawl strokes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32, 32-38.
- Osborough, C., Payton, C., & Daly, D. (2009). Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers,

- with selected anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 304-312.
- Payton, C., & Wilcox, C. (2006). Intracyclic speed fluctuations of uni-lateral arm amputee front crawl swimmers. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(1), 53-54.
- Pelayo, P., Sidney, M., Moretto, P., Wille, F., & Chollet, D. (1999). Stroking parameters in top level swimmers with a disability. *Physical Fitness and Performance*, 31(12), 1839-1843.
- Pendergast, D., Mollendorf, J., Zamparo, P., Termin, A., & Paschke, B. (2005). The influence of drag on human locomotion in water. *Undersea and Hyperbaric Medical Society*, 32(1).
- Prins, J., & Murata, N. (2008). Stroke Mechanics of Swimmers with Permanent Physical *Palaestra*, 24(1), 19-25.
- Pyne, D., Lee, H., & Swanwick, K. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 291-297.
- Reis, J., Alves, F., Bruno, P., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1689-1697.
- Ribeiro, J., K., D. J., Figueiredo, P., Toussaint, H., Guidetti, L., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Biomechanical determinants of force production in front crawl swimming. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 53, 30-37.
- Satkunskiene, D., Schega, L., Kunze, K., Birzinyte, K., & Daly, D. (2005). Coordination in arm movements during crawl stroke in elite swimmers with a loco-motor disability. *Hum Mov Sci*, 24(1), 54-65.
- Schega, L., Kunze, K., & Daly, D. (2006). *Simulation of Functional restrictions in swimmers with disabilities*. Comunicação apresentada em First International Symposium Sciences And Practices In Swimming, France.
- Seifert, L., Toussaint, H. M., Alberty, M., Schnitzler, C., & Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Hum Mov Sci*, 29(3), 426-439.

- Soares, S., Aleixo, I., Machado, L., Fernandes, R. J., Maia, J., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Evaluation of force production and fatigue using an anaerobic test performed by differently matured swimmers In P. L. Kjendlie, R. Stallman & J. Cabri (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 291-293). Oslo, Norway Norwegian School of Sport Sciences
- Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2014). Critical evaluation of oxygen uptake assessment in swimming. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 9(2), 190-202.
- Toubekis, A., Tsami, A., & Tokmakidis, S. (2006). Critical velocity and lactate threshold in young swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 117-123.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Barbosa, T. (2010). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. In L. Seifert, D. Chollet & I. Mujika (Eds.), *World book of swimming: from science to performance*: Nova Science Publishers.

Capítulo 6. Conclusão

Conclusão

Os estudos na área da Nadpt têm apresentado um significativo avanço científico nos últimos anos. Diversos investigadores estão empenhados em descobrir como os factores fisiológicos e biomecânicos influenciam o rendimento desportivo. Apesar disso, os estudos que abordam esses factores conjuntamente ainda são escassos. A presente dissertação teve como propósito realizar uma caracterização biofísica de nadadores com deficiência motora. Neste sentido, intentou-se a partir da análise de um protocolo intermitente incremental produzir conhecimento que permitisse fornecer contributos cientificamente fundamentados para a análise da performance desportiva na Nadpt, considerando os fatores bioenergéticos e biomecânicos.

A avaliação de nadadores com deficiência motora, abordando aspectos fisiológicos e biomecânicos conjuntamente, torna-se importante para auxiliar treinadores e nadadores no processo do controlo do treinamento e melhoria do desempenho competitivo. Esta preocupação constitui o mote para realização desta investigação e, em particular para o delineamento dos estudos que compõem a mesma, os quais foram progressivamente demonstrando a natureza das diferentes relações entre as variáveis de performance estudadas e ao final foi possível concluir:

- O protocolo intermitente incremental usado para a determinação das variáveis fisiológicas VO_2 , $[\text{La}^-]$ e FC, mostrou que estas aumentam progressivamente.
- As $[\text{La}^-]$ apresentam maior estabilidade nos primeiros patamares do teste aumentando acentuadamente a partir do LAn.
- Os valores encontrados para as $[\text{La}^-]_{\text{LAn}}$ e $v\text{LAn}$ sugerem que os nadadores da amostra parecem estar adaptados às intensidades baixas a moderada ou seja, abaixo e ao limiar anaeróbio.
- Os resultados das $[\text{La}^-]_{\text{LAn}}$ e das $[\text{La}^-]_{\text{máx}}$ sugerem que os nadadores apresentam uma capacidade aeróbica bem desenvolvida e um limitado sistema glicolítico. Essa limitação poderá ser facilmente resolvida com treinos direccionados para desenvolver a capacidade anaeróbica.

- Os nadadores da amostra mantiveram a FG constante nos primeiros três patamares aumentando do quatro até o sexto patamar para 175 m comparativamente aos 100 m. Para todos os patamares a DC foi superior nos 175 m comparativamente aos 100 m. Esses resultados sugerem que nadadores com deficiência motora parecem depender da FG para aumentar a v.
- Os valores encontrados para a VIV podem sugerir a deficiência na técnica de nado ou a falta de estabilidade do corpo causada por comprometimento funcional do nadador.
- Os pontos de inflexão encontrados para as variáveis bioenergéticas e biomecânicas estudadas sugerem haver uma interrelação dessas variáveis com o aumento da velocidade.

Capítulo 7. Sugestões para futuros estudos

Sugestões para futuros estudos

Esta tese utilizou-se de uma abordagem biofísica para compreender a combinação dos aspectos fisiológicos e biomecânicos de nadadores com deficiência motora na técnica do nado crawl, em diferentes intensidades. No entanto, apesar de fornecer algumas evidências úteis para treinadores e nadadores, muitas lacunas ainda permanecem e merecem investigação. Com base nos principais achados desse estudo, julgamos ser necessário continuar pesquisando neste campo da investigação, norteados nomeadamente pelas seguintes idéias:

- (i) Estender a análise biofísica a outras classes funcionais aumentando o número de sujeitos e utilizando sujeitos de ambos os sexos;
- (ii) Combinar a análise dos parâmetros avaliados (biomecânicos e fisiológicos) à coordenação de nado;
- (iii) Combinar a análise dos parâmetros avaliados (biomecânicos e fisiológicos) com as variáveis relacionadas com a atividade elétrica muscular.
- (iv) Avaliar e comparar o efeito da ação dos membros superiores e inferiores nos determinantes biofísicos de locomoção no nado crol;
- (v) Ampliar análise biofísica a sujeitos com outras deficiências, nomeadamente a paralisia cerebral.